



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE
IBARRA**

**ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES
“ECAA”**

INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN

TEMA:

**“DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS Y FERTILIZACIÓN
DEL CULTIVO DE SORGO (*Sorghum vulgare*) EN LAS CONDICIONES
EDAFOCLIMÁTICAS DE LA GRANJA EXPERIMENTAL ECAA”**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGROPECUARIA**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: 1. Desarrollo y sostenibilidad.
1.1 Tecnologías pecuarias**

AUTOR: KARINA HIDROBO.

ASESOR: MGS. DIEGO LEÓN.

IBARRA, JUNIO 2018



Ibarra, 12 de Junio del 2018

Mgs. Diego Manuel León Tapia

ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

f).

Mgs. Diego Manuel León Tapia

C.C.: 1711668895



PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f)

Mgs. Diego Manuel León Tapia

C.C.: 1711668895

(f)

Mgs. Luis Humberto Haro Bedón

CC: 1002739389

(f)

Ing. Edwin Fernando Del Pozo Villacís

C.C.: 1001756566



ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Karina Liseth Hidrobo Hidalgo, declaro conocer y aceptar la disposición del Art.66 del Instructivo de Trabajo de Grado de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI), que en su parte pertinente manifiesta textualmente: “Forman parte del patrimonio de la universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional de la universidad”

Ibarra. 22 de Mayo del 2018

f).

Karina Liseth Hidrobo Hidalgo

C.C.:1004037030



AUTORÍA

Yo, Karina Liseth Hidrobo Hidalgo, portadora de la cédula de ciudadanía N°1004037030, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se ha respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karina Hidrobo', is written over a faint, illegible stamp or watermark.

FIRMA (S)

Karina Hidrobo

C.C.: 1004037030

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar, porque gracias a su ayuda y a que su mano siempre ha estado sobre mí, he logrado culminar con éxito cada reto que me he propuesto.

A mí amado padre René, que ha sido un apoyo fundamental en mi vida, y me ha motivado siempre para culminar cada cosa que emprendo, dándome su ejemplo de perseverancia, y dedicación.

A mi amada madre y amiga María, que ha sido el pilar fundamental de mi vida, quién no solo me ha dedicado su vida entera, sino que con su apoyo y amor incondicional, me han enseñado a nunca perder la fe y la esperanza, porque no hay imposibles para Dios.

A mi amada hermana Renata, que ha sido todo lo que la vida me pudo obsequiar y más, mi compañera, mi apoyo, mi pequeña gran hermana.

A mi pequeño y amado hermano Martín que siempre ha estado junto a mí en todo momento siendo siempre un gran amigo.

Y finalmente al regalo más precioso que me pudo dar Dios, mi Amado hijo Gabrielito, quién es el principal motivo, por el cual cada esfuerzo vale la pena, Te amo hijito, esto es por ti y para ti.

Karina Hidrobo

AGRADECIMIENTO

A Dios en primer lugar por permitirme, disfrutar cada mañana de un nuevo día de vida.

A mis padres y hermanos, por apoyarme incondicionalmente, y facilitarme no solo el estudio si no su tiempo para ayudarme en lo que necesite.

A mí querida abuelita Targelia por haber sido de gran ayuda en todo este tiempo de culminación de mis estudios.

A mí querida prima Odalis, y a mi amigo Ricardo quienes sin esperar nada a cambio, fueron de gran ayuda en la culminación de mi trabajo de grado.

Al ingeniero Diego León, porque a pesar de no haber comenzado esta tesis juntos, no tuvo inconvenientes, para apoyarme y guiarme para culminar con excelencia este trabajo

A mis queridos amigos, trabajadores de la granja ECAA, Don: Raúl, Juanito, Elías, Ricardo, y Pablo, quienes fueron mis compañeros, y consejeros no solo en mi vida Universitaria, sino en cualquier situación.

A mis queridos amigos Lenin y Huguito, quienes estuvieron conmigo a cada paso de la realización de mi tesis, apoyándome, ayudándome, y siempre sacándome una sonrisa sin importar las circunstancias.

Gracias infinitas a todos por contribuir conmigo para que lograra terminar con éxito mi vida Universitaria.

Karina Hidrobo

RESUMEN

El sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*), representa una de las mejores alternativas para satisfacer las necesidades alimenticias del ganado vacuno, además cuenta con una excelente capacidad de adaptabilidad a diversas condiciones, lo que hizo favorable el estudio del mismo, para llegar a conocer la reacción de éste, ante factores que beneficien o desfavorezcan su desarrollo, y de este modo obtener información efectiva para el buen manejo del cultivo en la región sierra. El principal objetivo de esta investigación fue la evaluación de variables de desarrollo y rendimiento en el cultivo de sorgo forrajero híbrido (*Sudán, forrajero, fotosensitivo*), mediante la aplicación de diferentes láminas de riego, y dosis de fertilización en la granja experimental ECAA ubicada en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra; para ello se aplicó un diseño en parcelas divididas y una prueba de significancia de Duncan al 5 %; las variables en estudio fueron: porcentaje de humedad del suelo, porcentaje de germinación, número de macollos, altura de la planta a los 30 y 60 días, y después del corte se midieron rendimientos en materia verde y seca, y análisis bromatológico el que contempló energía, fibra y proteína. Los rendimientos obtenidos para la lámina de riego al 90% fueron de 39,7 t.ha⁻¹, para la lámina al 70 %, un promedio de 36,2 t.ha⁻¹, para la lámina de riego al 50 % fue de 35,00 t.ha⁻¹ y finalmente para la lámina 0% se obtuvo un promedio 34,29 t.ha⁻¹ respectivamente. Sin embargo, es necesario recalcar, que a pesar de aplicar láminas de riego menores al 50% de la CC (Capacidad de Campo), los rendimientos no se vieron afectados drásticamente, observando solo una leve disminución en los promedios, lo que demuestra que el sorgo cuenta con la capacidad de resistir a épocas de sequía. En el caso de la fertilización, no existió mayor relevancia pues los rendimientos promedios fueron, para la dosis alta y media de 36,41 y 36 t.ha⁻¹ respectivamente, y para la dosis baja el rendimiento disminuyó a 35,2 t.ha⁻¹ quedando finalmente establecidas la lámina al 90 % (198,12 mm) y la dosis de fertilización alta como las necesarias para que el cultivo de sorgo forrajero híbrido (*Sudán, forrajero, fotosensitivo*), se desarrolle de manera óptima en las condiciones edafoclimáticas de la granja experimental ECAA, en la Ciudad de Ibarra.

Palabras clave: Sorgo forrajero, fertilización, riego.

ABSTRACT

Sorghum fodder (*Sorghum vulgare*), representative of the best alternatives to meet the nutritional needs of cattle, also has an excellent ability to adapt to various conditions, which led to the study of it, to get to know the reaction of this, before factors that benefit or disfavor their development in order to obtain effective information for the proper management of the crop in the Sierra. The objective of this investigation was the evaluation of the cultivation of hybrid forage sorghum (sweet, fodder, photosensitive), before the application of different doses of irrigation, and fertilization dose in the experimental farm ECAA "Place in the Pontifical Catholic University of Ecuador Headquarters "Ibarra, obtaining as a result the variables of development and yield, to determine the water and fertilization needs in these conditions, for which a design was applied in Divided Plots and a test of Duncan's significance at 5%. The variables under study were soil moisture percentage, percentage of germination, number of tillers, height of the plant at 30 and 60 days, and after cutting, yield in green and dry matter was measured, and bromatological analysis that contemplated energy, fiber and protein. The yields obtained for the irrigation sheet of 90% were 39,7 t.ha⁻¹, for the sheet at 70%, an average of 36,2 t.ha⁻¹, for the irrigation sheet at 50% was 35,00 t.ha⁻¹ and finally for the sheet 0% an average of 34,29 t.ha⁻¹ respectively was obtained. However, it is necessary to emphasize that even though irrigation sheets can be used that are less than 50% of the field capacity, the yields are not affected dramatically, observing only a slight decrease in the averages, thus demonstrating the sorghum capacity. of resisting periods of drought. Likewise for fertilization, there was no greater relevance than the average yields for the high and medium doses of 36,41 and 36 t.ha⁻¹ respectively, and for the low dose the yield decreased to 35,2 t.ha⁻¹ with the established at 90% (198,12 mm) and the high fertilization dose as necessary for the cultivation of hybrid forage sorghum (Sudán, fodder, photosensitive), has been optimally developed under the edaphoclimatic conditions of the experimental ECAA grana, in the City of Ibarra.

Key words: Fodder sorghum, fertilization, irrigation.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL | ii |
| ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS | iii |
| AUTORÍA | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xiii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xv |
| CAPÍTULO I | 16 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 16 |
| 1.1 Contextualización del problema – antecedentes | 17 |
| 1.2 Justificación..... | 19 |
| 1.3 Objetivos | 21 |
| 1.3.1 Objetivo general | 21 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 21 |
| 1.3.3 Hipótesis..... | 21 |
| CAPÍTULO II..... | 22 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 22 |
| 2.1 Sorgo forrajero | 22 |
| 2.2 Clasificación Taxonómica..... | 23 |
| 2.3 Características del sorgo forrajero..... | 23 |
| 2.4 Aspectos botánicos..... | 24 |
| 2.4.1 Raíz..... | 24 |
| 2.4.2 Tallo..... | 24 |
| 2.4.3 Hojas..... | 24 |
| 2.5 Requerimientos edafoclimáticos..... | 24 |
| 2.5.1 Suelo..... | 24 |

| | |
|--|----|
| 2.5.2 Elevación..... | 25 |
| 2.5.3 Humedad del suelo..... | 25 |
| 2.5.4 Temperatura..... | 25 |
| 2.5.5 Cantidad de horas luz..... | 25 |
| 2.6 Características del sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo)..... | 26 |
| 2.7 Requerimientos de agua del sorgo..... | 26 |
| 2.8 Frecuencia de riego..... | 28 |
| 2.9 Problemas del Sorgo ante períodos de sequía extendidos..... | 28 |
| 2.10 Necesidades Hídricas de los cultivos..... | 29 |
| 2.11 Evapotranspiración..... | 29 |
| 2.11.1 Factores que afectan la evapotranspiración..... | 30 |
| 2.12 Requerimientos Nutricionales del sorgo..... | 31 |
| 2.12.1 Nitrógeno N..... | 32 |
| 2.12.2 Fósforo P..... | 33 |
| 2.12.3 Potasio K..... | 33 |
| CAPÍTULO III..... | 35 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 35 |
| 3.1 MATERIALES..... | 35 |
| 3.1.1 Infraestructura..... | 35 |
| 3.1.2 Insumos..... | 35 |
| 3.1.3 Materiales de campo..... | 35 |
| 3.1.4 Equipos de Laboratorio..... | 36 |
| 3.1.5 Materiales de Oficina..... | 36 |
| 3.1.6 Reactivos..... | 36 |
| 3.2 METODOLOGÍA..... | 37 |
| 3.2.1 Ubicación del Experimento..... | 37 |
| 3.2.2 Análisis Estadístico..... | 37 |
| 3.2.3 Factores en Estudio..... | 38 |
| 3.2.4 Interacción de los factores en estudio..... | 39 |
| 3.2.5 Esquema del análisis de Varianza (ANDEVA)..... | 40 |
| 3.2.6 Características de la Unidad experimental..... | 40 |
| 3.3 VARIABLES..... | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.1 Variables independientes | 42 |
| 3.3.2 Variables dependientes | 42 |
| 3.3.3 Actividades complementarias | 47 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS | 50 |
| 4.1 Prueba de normalidad y homogeneidad de la varianza | 50 |
| 4.2 Evapotranspiración del cultivo | 51 |
| 4.2.1 Requerimiento de agua del cultivo (RAC) | 52 |
| 4.2.2 Láminas de Riego | 53 |
| 4.2.3 Tiempo de riego..... | 53 |
| 4.3 Porcentaje de germinación | 53 |
| 4.4 Número de macollos..... | 57 |
| PRIMER CORTE | 61 |
| 4.5 Altura de la Planta | 61 |
| 30 Días..... | 61 |
| 60 Días..... | 65 |
| 4.6 Peso de materia verde (fresco) | 69 |
| 4.7 Materia Seca | 73 |
| 4.8 Análisis Bromatológico | 76 |
| 4.8.1 Energía..... | 76 |
| 4.8.2 Fibra..... | 80 |
| 4.8.3 Proteína..... | 83 |
| SEGUNDO CORTE..... | 87 |
| 4.9 Altura de la planta | 87 |
| 30 Días..... | 87 |
| 60 Días..... | 90 |
| 4.10 Peso de materia verde (fresco) | 94 |
| 4.11 Materia seca..... | 97 |
| 4.12 Análisis Bromatológico | 101 |
| 4.12.1 Energía..... | 101 |
| 4.12.2 Fibra..... | 103 |
| 4.12.3 Proteína..... | 106 |
| 4.13 Socialización sobre la medición de impacto de la investigación | 110 |

| | |
|---|-----|
| 4.14 Determinación de la relación existente entre riego y fertilización. | 111 |
| CAPITULO VI | 112 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 112 |
| Conclusiones | 112 |
| Recomendaciones | 115 |
| BIBLIOGRAFÍA | 116 |
| ANEXOS | 121 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación taxonómica del sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)..... | 23 |
| Tabla 2. Características del sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo) | 26 |
| Tabla 3. Necesidades hídricas del cultivo de sorgo, según etapa fenológica | 27 |
| Tabla 4. Ubicación del experimento | 37 |
| Tabla 5. Porcentaje de láminas de riego para el cultivo de sorgo | 38 |
| Tabla 6. Dosis de fertilización kg.ha ⁻¹ para el cultivo de sorgo..... | 39 |
| Tabla 7. Interacción de Observaciones Riego. Fertilización | 39 |
| Tabla 8. Análisis de Varianza | 40 |
| Tabla 9. Características del diseño experimental parcela pequeña..... ¡Error! Marcador no definido. | |
| Tabla 10. Características del diseño experimental parcela grande | 40 |
| Tabla 11. Promedio de porcentajes de humedad de las muestras de suelo..... | 42 |
| Tabla 12. Análisis de suelo Lote 5..... | 48 |
| Tabla 13. Requerimiento del cultivo de Sorgo forrajero y eficiencia del fertilizante..... | 48 |
| Tabla 14. Dosis fertilización del cultivo de sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo) | 49 |
| Tabla 15. Prueba Shapiro - Wilk Normalidad y Homogeneidad de la varianza..... | 50 |
| Tabla 16. Evapotranspiración, Ciudad de Ibarra | 51 |
| Tabla 17. Kc del cultivo de sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo) en la Ciudad de Ibarra..... | 52 |
| Tabla 18. Láminas de riego, tomadas con el Tdr para el cultivo de sorgo forrajero | 53 |
| Tabla 19. Tiempo de riego en horas, para el sorgo forrajero..... | 53 |
| Tabla 20. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero, para la variable porcentaje de germinación..... | 54 |
| Tabla 21. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable número de macollos..... | 58 |
| Tabla 22. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura 30 días, 1° corte..... | 62 |
| Tabla 23. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura 60 días, 1° corte..... | 66 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 24. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia verde, 1° corte | 70 |
| Tabla 25. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia seca, 1° corte | 73 |
| Tabla 26. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía, 1° corte. | 77 |
| Tabla 27. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable fibra, 1° corte | 81 |
| Tabla 28. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable proteína, 1° corte | 84 |
| Tabla 29. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura 30 días, 2° corte | 87 |
| Tabla 30. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura 60 días, 2° corte..... | 91 |
| Tabla 31. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia verde, 2° corte | 94 |
| Tabla 32. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia seca, 2° corte..... | 98 |
| Tabla 33. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía, 2° corte | 101 |
| Tabla 34. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable fibra, 2° corte | 104 |
| Tabla 35. Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable proteína, 2° corte | 107 |
| Tabla 36. Promedios finales de las variables del cultivo de sorgo..... | 113 |
| Tabla 37. Encuesta de la socialización del proyecto..... | 114 |
| Tabla 38. Coeficientes de correlación entre los factores riego y fertilización, aplicado a las variables en la investigación del cultivo de sorgo forrajero..... | 110 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Requerimientos de agua durante el ciclo del cultivo..... | 28 |
| Figura 2. Evapotranspiración del cultivo..... | 31 |
| Figura 3. Distribución de las unidades experimentales | 41 |
| Figura 4. Diseño de la unidad experimental, parcela grande..... | 42 |
| Figura 5. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable germinación del cultivo de sorgo forrajero..... | 55 |
| Figura 6. Promedio de porcentaje de germinación, del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización..... | 56 |
| Figura 7. Promedio de interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable germinación | 57 |
| Figura 8. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable número de macollos del cultivo de sorgo forrajero..... | 59 |
| Figura 9. Promedio de número de macollos del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización. | 60 |
| Figura 10. Promedio de interacción entre riego y fertilización del cultivo de sorgo forrajero para el número de macollos | 61 |
| Figura 11. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable altura del cultivo de sorgo forrajero. 1° corte..... | 63 |
| Figura 12. Promedio altura de la planta, del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización, 1° corte..... | 64 |
| Figura 13. Promedios de interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura, 1° corte | 65 |
| Figura 14. Promedios altura de la planta, del cultivo de sorgo forrajero para el factor riego, 1° corte..... | 67 |
| Figura 15. Promedio altura de la planta, del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización, 1° corte..... | 68 |
| Figura 16. Promedio de Interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura de la planta, 1° corte..... | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 17. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable materia verde del cultivo de sorgo forrajero, 1° corte | 71 |
| Figura 18. Promedio de materia verde del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización, 1° corte..... | 72 |
| Figura 19. Promedios de interacción riego y fertilización, para la variable rendimiento de materia verde del sorgo forrajero 1° corte | 72 |
| Figura 20. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable materia seca del cultivo de sorgo forrajero 1° corte | 74 |
| Figura 21. Promedios de materia seca, del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización, 1° corte..... | 75 |
| Figura 22. Promedios de interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia seca, 1° corte | 76 |
| Figura 23. Promedios del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía, 1° corte | 78 |
| Figura 24. Promedios del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía por el factor fertilización, 1° corte..... | 79 |
| Figura 25. Promedios de interacción entre riego y fertilización del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía 1° corte | 80 |
| Figura 26. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable fibra del cultivo de sorgo forrajero 1° corte | 82 |
| Figura 27. Duncan al 5%, para el factor fertilización en la variable fibra del cultivo de sorgo forrajero 1° corte | 82 |
| Figura 28. Promedio de Interacción riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable porcentaje de fibra del sorgo forrajero 1° corte | 83 |
| Figura 29. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable proteína del cultivo de sorgo forrajero 1° corte..... | 85 |
| Figura 30. Duncan al 5%, para el factor fertilización en la variable proteína del cultivo de sorgo forrajero 1° corte | 86 |
| Figura 31. Promedio de Interacción riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable porcentaje de proteína 1° corte..... | 86 |
| Figura 32. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable altura del cultivo de sorgo forrajero 2° corte | 88 |

| | |
|---|-----|
| Figura 33. Duncan al 5%, para el factor fertilización en la variable altura del cultivo de sorgo forrajero 2° corte | 89 |
| Figura 34. Promedios de interacción riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura 2° corte | 90 |
| Figura 35. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable altura del cultivo de sorgo forrajero 2° corte | 92 |
| Figura 36. Promedios de altura de la planta, del cultivo de sorgo forrajero por el factor fertilización, 2° corte..... | 93 |
| Figura 37. Promedios de interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura de la planta 2° corte..... | 93 |
| Figura 38. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable materia verde del cultivo de sorgo forrajero 2° corte | 95 |
| Figura 39. Duncan al 5% del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia verde fresca por el factor fertilización 2° corte | 96 |
| Figura 40. Promedios de interacción riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable rendimiento de materia verde 2° corte | 97 |
| Figura 41. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable materia seca del cultivo de sorgo forrajero 2° corte | 99 |
| Figura 42. Promedios de materia seca, del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización, 2° corte..... | 100 |
| Figura 43. Promedios de interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia seca, 2° corte | 100 |
| Figura 44. Promedios del cultivo de sorgo para la variable energía, factor riego 2° corte | 102 |
| Figura 45. Promedios del cultivo de sorgo para la variable energía, factor fertilización 2° corte | 102 |
| Figura 46. Promedios de interacción riego y fertilización del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía 2° corte | 103 |
| Figura 47. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable fibra del cultivo de sorgo forrajero 2° corte..... | 105 |
| Figura 48. Duncan al 5%, para el factor fertilización en la variable fibra del cultivo de sorgo forrajero 2° corte | 105 |

| | |
|---|-----|
| Figura 49. Promedios de interacción riego y fertilización del cultivo de sorgo forrajero para la variable porcentaje de fibra 2° corte | 106 |
| Figura 50. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable proteína del cultivo de sorgo forrajero. 2°corte | 108 |
| Figura 51. Promedio del cultivo de sorgo forrajero para la variable porcentaje de proteína 2° corte | 109 |
| Figura 52. Promedio de interacción riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable porcentaje de proteína 2° corte..... | 109 |

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El sorgo es un cultivo de origen tropical que posee una gran capacidad para adaptarse a diversos factores, gracias a los avances en mejoramiento genético, por lo que es considerado para la salud alimentaria como uno de los mejores cultivos a nivel mundial. (Carrasco, Zamora, & Melin, 2011)

Así mismo, es poseedor de ventajas que lo hacen diferente de otros cultivos, como su capacidad de latencia donde detiene su crecimiento, como estrategia cuando las condiciones son desfavorables, y genera producciones mucho más altas de forraje, con un consumo de agua mínimo, (Carrasco, Zamora, & Melin, 2011).

El cultivo necesita aproximadamente entre 450 a 500 mm durante su ciclo, y se lo considera altamente resistente a las sequías; se desarrolla en alturas que van desde los 0 hasta los 1500 msnm, siendo de 0 a 800 msnm las óptimas para su desarrollo; requiere de una nutrición óptima por lo que es necesario un análisis de suelos, pues de esta depende mucho la producción de biomasa. (Zeledón, Hernández, Morán, Serrano, Borja, Torres, & Calderón, 2007).

Es utilizado principalmente para la alimentación del ganado por su alto contenido nutricional; y debido a la creciente demanda de forraje en Sudamérica, ha provocado que sea considerado como una alternativa para cubrir los requerimientos alimenticios ganaderos, tanto a corto, como a mediano plazo, en especial en las épocas críticas en las que no existe suficiente agua de riego para los cultivos. (Torrealba & Graterol, 2005).

Según investigaciones realizadas por Pérez, Saucedo, Iglesias, Wencomo, Reyes & Milián, (2010) respecto a los requerimientos de agua de forrajes como sorgo y maíz, determinaron que las pérdidas por percolación son aproximadamente de un 28 %.

La escasez de agua, es uno de los principales problemas en la producción agrícola y ha provocado pérdidas económicas excesivas que afectan no solo a productores y agricultores

sino a la población en general, lo que se comprueba con el aumento de la cantidad de suelos erosionados, desgastados, o intoxicados, impidiendo la producción de cultivos y de pastos.

Es por esto, que se ve necesario el planteamiento de esta investigación con el objetivo de obtener datos sobre la aplicación de diferentes láminas de riego y dosis de fertilizante en el cultivo de sorgo, bajo las condiciones agroclimáticas que presenta la Granja Experimental ECAA, en la ciudad de Ibarra.

1.1 Contextualización del problema

Antecedentes

Ante la grave carencia del recurso hídrico que impacta la producción agropecuaria, es imprescindible buscar alternativas que evalúen el mejor aprovechamiento de este recurso, con el fin de tomar mejores decisiones en cuanto a su manejo sostenible, pues su escasez en el suelo, es uno de los principales factores que afecta de manera directa la absorción de nutrientes por parte de los cultivos (Arboleda, 2009).

Según estudios realizados por la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central del Ecuador (2015), el agua que existe en el país está sufriendo presión por parte del ser humano para su aprovechamiento descontrolado, lo que está provocando que la capacidad de asimilación de la naturaleza se esté agotando, generando a su vez que suelos dedicados a la producción de forrajes se estén degradándose.

La aplicación de cantidades de agua mayores a las requeridas por un cultivo, provoca la falta de uniformidad de riego, lo que conlleva un sin número de problemas tales como escorrentía, encharcamiento e incluso la erosión del suelo. Por su parte (EcuRed, 2014), menciona que al efectuar el riego, se aplica una dosis de agua al suelo de un modo muy rápido y casi siempre con un exceso de agua sobre la necesaria para alcanzar la capacidad de campo, sin tomar necesariamente en cuenta cantidades justas.

Para todos los cultivos, y en este caso el sorgo los efectos que se producen en el período inicial del ciclo, por estrés debido a sequías o escasez de agua, son la prolongación del ciclo, y en el período final, la aceleración de la madurez (Agrobit, 2014).

Al igual que el riego, otro problema de igual importancia que afecta la productividad forrajera es el mal manejo de la fertilización, pues al no tomar en cuenta las necesidades del cultivo o la cantidad de nutrientes presentes en el suelo, se acude a la aplicación errónea de éstos, provocando intoxicaciones o deficiencias en el mismo; además de grandes pérdidas económicas, un claro ejemplo de esto, es la aplicación dosis de Nitrógeno bajas, tanto en la planta como en el suelo, dando como resultado, mínimas cantidades de Proteína en el grano y plantas con sistemas radiculares débiles. (Gambudo, 2013)

El conocimiento del valor nutricional de un forraje es de suma importancia para la nutrición animal, “El valor nutritivo de los forrajes está directamente relacionado con su composición química y digestibilidad, las cuales son características que varían ampliamente debido a diversos factores tales como: especie, variedad, uso de fertilizante, etapa de cosecha y condiciones ambientales registradas durante el cultivo” (Berumena, Serna, Ocampo, Martínez, & Ortiz, 2007)

El rendimiento del sorgo está íntimamente relacionado con la cantidad de agua disponible y los requerimientos de nutrientes que éste necesite (United Sorghum Checkoff Program Board, 2011). Al ser un cultivo adaptado a las condiciones de la granja ECAA, su manejo ha sido empírico, por lo que la falta de información de las cantidades del recurso hídrico y de fertilización que requiere, impulsan la realización de este estudio.

1.2 Justificación

La adaptabilidad implica una propiedad por el cual los órganos capacitados de una planta sobreviven y se reproducen en ambientes fluctuantes, por lo que es una habilidad genética que resulta de estabilizar las interacciones genéticas con el ambiente, por medio de relaciones genéticas y fisiológicas de los organismos (FAO 1975, citado por Perechú, 2009).

En el Ecuador, el sorgo es un forraje generalmente cultivado en la Costa, sin embargo, existen estudios preliminares de la adaptación de este cultivo a las condiciones edafoclimáticas de la serranía. Según González, J. (2016), el sorgo en la ciudad de Ibarra, donde las condiciones no le resultan del todo favorables, produjo rendimientos máximos de 45,57 t.ha⁻¹ por corte.

La presente propuesta apunta a levantar mayor información respecto al comportamiento del sorgo en la Granja ECAA, puesto que es necesario recabar información sobre los requerimientos hídricos y de fertilizantes que permitan obtener rendimientos óptimos, en esta zona.

Rodríguez (2005) menciona que el sorgo es una especie cuyas propiedades morfológicas y fisiológicas lo ubican dentro de un grupo de materiales de alto rendimiento, aptos para la alimentación de rumiantes por lo que se requiere un buen manejo de riego, contribuyendo a la disminución del daño causado por estrés durante el desarrollo, y al mismo tiempo ayudando a minimizar las pérdidas de agua, garantizando la sustentabilidad de un agro sistema. (Contreras, Salgado, & Hernández, 2013)

Según estudios realizados por Terra, Scaglia, & García (2000), el sorgo posee una gran resistencia a la sequía, condición ventajosa para un cultivo en relación a otros cereales, lo que lo hace adaptable a varias condiciones climáticas y a un eficiente uso del agua.

Investigaciones recientes afirman que la función del agua en el rendimiento y su uso dentro de la planificación del cultivo se vuelve una estrategia importante (Robina 2010); si se quiere agregar un plus para obtener altas y estables producciones con una mejor calidad

en la cosecha, es necesario que se satisfaga la máxima evapotranspiración del cultivo (Puppo, 2010).

Además si se requiere obtener buenos rendimientos del cultivo se debe tomar en cuenta que en el sorgo existe una relación directamente proporcional entre el rendimiento en grano y la oferta de agua: Agua a la siembra + Precipitaciones (Stone, 2006).

Según Terra, Scaglia, & García (2000), otra manera de aumentar el rendimiento del cultivo de sorgo es mediante la fertilización que es una práctica agronómica necesaria y se caracteriza por ser muy exigente en Nitrógeno y requerir cantidades suficientes de fósforo y potasio, convirtiéndose en un recurso estratégico para incrementar los rendimientos de cultivo, que variará de acuerdo a las necesidades del mismo (Gambudo, 2013).

Por eso se plantea estudiar las necesidades hídricas y los requerimientos de fertilizante que el sorgo forrajero requiere en estas nuevas condiciones edafoclimáticas, pues nos permitirá establecer una comparación más objetiva respecto a otras fuentes nutricionales, lo que beneficiará directamente al desarrollo y producción pecuaria.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la necesidad hídrica y fertilización del cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo) en las condiciones edafoclimáticas de la granja experimental ECAA, Ciudad de Ibarra.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento del cultivo ante distintos regímenes de riego
- Establecer la respuesta del cultivo de sorgo ante diferentes aplicaciones de fertilizante
- Determinar la relación existente entre riego y fertilización
- Establecer un valor de Kc para el cultivo del sorgo en la zona del Ensayo
- Socializar los resultados de la investigación

1.3.3 Hipótesis

Mantener el suelo húmedo con diferentes umbrales de riego y distintas aplicaciones de fertilizante produce diferentes rendimientos.

- **Hipótesis nula (H₀)**

Todas las observaciones presentan similares rendimientos, al mantener el suelo con diferentes láminas de riego y dosis de fertilización.

- **Hipótesis alternativa (H₁)**

Por lo menos una observación presenta diferentes rendimientos al mantener el suelo con diferentes láminas de riego y dosis de fertilización.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sorgo forrajero

Vallati (2012) menciona que: “el sorgo es un cultivo originario de África, y fue uno de los primeros que el hombre utilizó para su alimentación y la de sus animales”.

Según Benigno Guerrero (2006) el sorgo es un cultivo “usado como alternativa agro tecnológica para la alimentación del ganado pues, suple las necesidades de pasto y forraje, en especial en las temporadas de sequía”.

Además, existen diversos estudios de sorgo forrajero que han demostrado la existencia de una alta capacidad de adaptación no solo a diferentes lugares, sino también al estrés hídrico, dando como resultados altos valores de crecimiento y rendimiento, excelente calidad nutricional, buena capacidad de macollaje y sobre todo su persistencia al rebrotar tanto en el campo experimental, como comercial (Guerrero & Herrera, 2006).

Natalia Carrasco (2011) menciona que:

Entre las principales características que presenta el sorgo está, que a diferencia de otros cultivos este aporta altas cantidades de rastrojo lo que favorece a optimizar la cobertura de los suelos, además posee un amplio y profundo sistema radical que le permite explorar el perfil del suelo de una manera más profunda contribuyendo de esta manera a mejorar la estructura.

Pardivé & Romero (2003) mencionan que:

Se conoce que las primeras investigaciones de sorgo se realizaron en híbridos tanto forrajero como graníferos se realizaron en Estados Unidos por los investigadores Oriunbo y Stephens de Texas, quienes descubrieron la potencialidad de este, alcanzando rendimientos de más de 13,4 t.ha⁻¹.

2.2 Clasificación Taxonómica.

La clasificación taxonómica del sorgo se presenta en la Tabla 1:

Tabla 1
*Clasificación taxonómica del sorgo (*Sorghum vulgare*)*

| | |
|--------------------|------------------|
| REINO | Plantae |
| DIVISIÓN | Fanerógama |
| SUBDIVISIÓN | Angiospermas |
| ORDEN | Glumíferas |
| FAMILIA | Gramíneas |
| SUBFAMILIA | Panicoideas |
| CLASE | Monocotiledóneas |
| TRIBU | Andropogóneas |
| GÉNERO | <i>Sorghum</i> |
| ESPECIE | Vulgare |

Fuente: (Castillo, 2014)

2.3 Características del sorgo forrajero.

Guerrero & Herrera (2006) mencionan que:

Entre las principales características del sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*), se conoce que es un cultivo de tipo semi perenne, con grandes cualidades de adaptabilidad a lugares limitados para otros forrajes, su reproducción es por semillas, con crecimiento erecto, y presenta una alta capacidad de producir aún en condiciones desfavorables.

Pérez *et al.*, (2010) menciona que:

Su resistencia a la sequía que lo hace diferente a otros forrajes es gracias a un sistema radical que presenta muchas ramificaciones y un déficit de presión de difusión en sus raíces, además la evaporación de este es mucho menor gracias a una capa de cera que cubre las hojas y tallo y el número de estomas es mayor que en el maíz pero de un tamaño mucho menor, por lo tanto responde con brevedad a los cambios de humedad en el

ambiente y finalmente una de las mayores ventajas es la facultad de entrar en período de latencia cuando existen deficiencias de agua, que termina cuando las condiciones mejoran.

2.4 Aspectos botánicos.

2.4.1 Raíz.

Según Zeledón, Hernández, Morán, Serrano, Borja, Torres & Calderón (2007) la raíz “presenta un sistema radicular adventicio y fibroso, que alcanza una profundidad de 1,0 a 1,3 m”; el 80% del mismo está ubicado a 30 cm del suelo, con la presencia de más pelos absorbentes que el maíz.

2.4.2 Tallo.

Según Zeledón *et al.*, (2007) “el sorgo posee un solo tallo, pero podría desarrollar otros (hijos) dependiendo de la variedad y del ambiente, su longitud va desde 0,5 hasta los 4,0 m con un diámetro de 0,5 hasta 5 cm cerca de la base y encogiéndose en la parte superior; presenta de 7 a 24 nudos que son erectos”.

2.4.3 Hojas.

Según los mencionados autores “posee entre 7 a 24 hojas de acuerdo a cada variedad, la longitud varía entre 30 a 135 cm y el ancho varía entre 1,5 a 15 cm, son alternas y lanceoladas y con una superficie lisa y cerosa”. (Zeledón *et al.*, 2007)

2.5 Requerimientos edafoclimáticos.

2.5.1 Suelo.

Según Guerrero & Herrera (2006) el sorgo puede cultivarse “en suelos de mediana a alta fertilidad, con textura arenosa, franco o arcillosa. Los suelos deben tener buen drenaje, pues la excesiva humedad afecta el desarrollo normal de las plantas”. Zeledón *et al.*, (2007) afirman que “tiene buena respuesta a una diversidad de suelos aún con características adversas de fertilidad, textura, pendiente o pH que varía entre 5,5 a 7,8 es muy susceptible a deficiencias de hierro, zinc y magnesio”.

El desarrollo del cultivo de sorgo forrajero para lograr altos rendimientos, necesita suelos profundos, con materia orgánica entre 4 y 10%, ligeramente ácidos, con valores de pH entre 5.2 a 6.5, con poca inclinación y de preferencia de topografía plana, con buen drenaje interno (Guerrero & Herrera, 2006),

2.5.2 Altitud sobre el nivel del mar.

González J. S. (2016) en su investigación menciona que la adaptabilidad del sorgo puede superar los 2200 m.s.n.m., lo que concuerda con lo expuesto por Martínez (2012) quien afirma que el sorgo se cultiva en México en elevaciones de hasta 2200 m.s.n.m., incluso existe información que el sorgo se puede adaptar a alturas que van desde los 1800 hasta los 2000 m.s.n.m. (Amador & Boschini, 2000).

2.5.3 Humedad del suelo.

La humedad del suelo conforme Zeledón *et al.*, (2007) “depende mucho del tipo de sorgo pues los fotosensitivos requieren una mayor humedad en el suelo para la polinización y el llenado del grano, comparados con los fotosensitivos (criollo) que no requieren de tanta humedad del suelo”, aproximadamente 250 mm de agua en el suelo para su ciclo.

2.5.4 Temperatura.

Respecto a la temperatura, Martínez (2012) afirma que el sorgo requiere temperaturas de 12° a 13° C, mientras que Amador & Boschini (2000) manifiestan que para su desarrollo requerirá temperaturas desde los 15 hasta los 30°C, dependiendo de cada etapa fenológica.

2.5.5 Cantidad de horas luz.

Considerando la cantidad de horas luz que requiere el sorgo, se lo clasifica en fotosensitivos y fotoinsensitivos. Los primeros son materiales híbridos mejorados para retrasar su entrada en floración hasta los 110 a 120 días; este alargamiento de la etapa vegetativa produce un mayor crecimiento de tallos y hojas. En el presente ensayo se utilizó el sorgo híbrido forrajero Sudán fotosensitivo. (Martín, 2005)

Para los sorgos fotosensitivo se necesitan entre 12 a 13 horas luz para florecer aproximadamente, mientras que los fotoinsensitivos florecen sin importar la cantidad de horas luz que exista (Zeledón *et al.*, 2007).

2.6 Características del sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo).

En la página web Anzu Brothers, (2012) se presentan las características del sorgo híbrido Sudán, forrajero, fotosensitivo, en la siguiente tabla

Tabla 2

Características del cultivo de sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo)

| Ciclo vegetativo | Anual |
|-------------------------------------|--------------------|
| pH mínimo | 6,0 |
| Color de la semilla | Rojo |
| Maduración | Entre 60 y 80 días |
| Tamaño de la planta | 2,0 a 2,5 ms |
| Cantidad de hojas por planta | 14 a 16 |
| Largo y ancho de la hoja | 1,10 x 8 cm |

Fuente: (Anzu Brothers, 2012)

2.7 Requerimientos de agua del sorgo.

Díaz, Puebla, & Robaina, (2016) mencionan que:

El sorgo es un cultivo que requiere pocas cantidades de agua para formar un kilogramo de materia seca gracias a que presenta un mecanismo de tolerancia ante los periodos de

escasez de agua, especialmente en la etapa de diferenciación floral, sin repercutir en los rendimientos.

Si bien es altamente resistente a las sequías, es necesario satisfacer los requerimientos de agua en las primeras etapas del cultivo. En la primera etapa, es recomendado sembrar con la humedad residual del suelo, tomando en cuenta el tipo del mismo, es decir, se debe regar preferiblemente unos 4 u 8 días antes de la siembra, luego se debería aplicar un riego de auxilio aproximadamente 45 o 50 días después, con una lámina de riego para ambos de 8 a 10 centímetros. Este riego se lo puede efectuar por inundación en el caso de que el terreno lo permita o por aspersión si las condiciones no son favorables. (Fruponay, 2002)

Tabla 3

Necesidades hídricas del cultivo de sorgo, según etapa fenológica

| ETAPA | DÍAS A LA EMERGENCIA | DEMANDA DE AGUA (mm) |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 0 | 0 | 30 |
| 1 | 10 | 25 |
| 2 | 20 | 25 |
| 3 | 30 | 25 |
| 4 | 38-45 | 60 |
| 5 | 45-50 | 60 |
| 6 | 50-60 | 125 |
| 7 | 60-75 | 100 |
| 8 | 75-90 | 100 |

Fuente: (Carrasco *et al.*, 2011)

En la página web Agrobot, (2014) se menciona que:

La planta de sorgo requiere un mínimo de 250 mm durante su ciclo para llegar a producir grano y pueden obtenerse buenos rendimientos con 350 mm, pero, para lograr altas producciones, el requerimiento de agua varía entre 450 a 600 mm, dependiendo del ciclo del híbrido y de las condiciones ambientales.

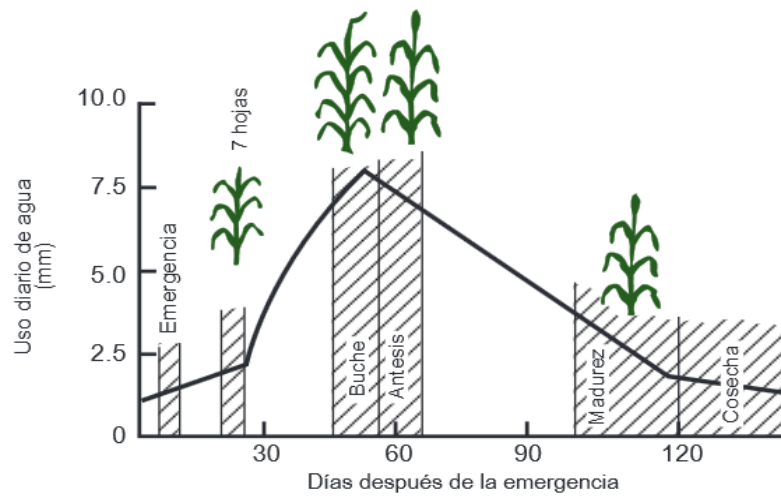


Figura 1. Requerimientos de agua durante el ciclo del cultivo
Fuente: (Zeledón *et al.*, 2007)

2.8 Frecuencia de riego.

Jorge Rodríguez Jasso (s.f.) menciona que:

La primera etapa se presenta aproximadamente a los 35 días después de la siembra, identificada como la diferenciación floral, en la que no puede faltar humedad, al igual que en la segunda etapa llamada floración.

Las frecuencias de riego están estrechamente ligadas a la cantidad de lluvia presentes, por lo que después del riego de siembra, no es necesario aplicar más; generalmente se requieren entre 3 o 4 riegos de auxilio para este cultivo.

2.9 Problemas del Sorgo ante períodos de sequía extendidos.

Romero, Bruno, Comeró, & Gaggiotti., (1999) mencionan que:

A pesar de la poca cantidad de agua que necesita el sorgo, puede afectarse gravemente cuando es sometido a períodos largos de sequía, lo que disminuye sus rendimientos. La cantidad óptima de agua que necesita el sorgo es de 500 a 600 mm para obtener buenos rendimientos de biomasa.

Strevie Ruzica (2001) menciona que:

Los síntomas de deficiencia de agua se manifiestan de la siguiente manera:

- Quemazón de las hojas, se secan los bordes en toda su longitud y sobre todo las puntas.
- Las hojas se abarquillan en sentido longitudinal, en casos severos se produce un achaparramiento o desarrollo atrofiado de las plantas.
- La falta de humedad en estados avanzados de desarrollo, ocasionan la formación de tallos delgados con panoja y granos pequeños, estas plantas resultan muy susceptibles al volcamiento.

2.10 Necesidades Hídricas de los cultivos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, (2002) menciona:

Las necesidades de agua se representan como la diferencia entre las necesidades de agua que presenta un cultivo y la lluvia efectiva; en cambio, la cantidad de agua que requiere para compensar la pérdida de evapotranspiración del cultivo se define como las necesidades de agua del cultivo. Las necesidades de agua de un cultivo son las cantidades de agua que necesita el cultivo de riego o precipitación, en cambio la evapotranspiración es la cantidad de agua que pierde a través de la transpiración.

2.11 Evapotranspiración.

(Salinas, MamadouBâ, BucioII, & Hernández, 2013) mencionan que:

Una de las variables más importantes en Hidrología es la evapotranspiración, para la producción de alimentos, pues toma en cuenta modelos de cambio climáticos con mucha precisión. Toma en cuenta la evaporación directa desde el suelo y la transpiración de la planta, a ambos se les considera conjuntamente pues los dos procesos ocurren en un mismo tiempo por tanto se vuelve indistinguibles.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2002) menciona:

El método de Penman Monteith a partir del año 1990 recomendado por la FAO como el único método estándar garantizado para el cálculo del Eto, debido a la existencia de diversos métodos empíricos, y algunos científicos, que frecuentemente requerían de ecuaciones sujetas a muchas calibraciones, lo que limita el cálculo en variables distintas, impidiendo así el desarrollo de un programa estable para la determinación del ETo.

2.11.1 Factores que afectan la evapotranspiración.

Existen factores que afectan la evapotranspiración de un cultivo, tales como las labores de manejo y el medio de desarrollo.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2002), se dedica al estudio de variables climáticas; tales como la radiación, la temperatura, la humedad atmosférica, la velocidad del viento, para lo cual han desarrollado métodos que toman estos parámetros para el cálculo de la evaporación, tanto del cultivo, como de la atmósfera. Factores del cultivo, como la variedad, las etapas de desarrollo, son de gran importancia al momento de calcular el Eto, pues al ser diferentes cultivos, el factor evaporación varía pues depende de la capacidad de transpiración de cada uno de ellos, además, se toma mucho en cuenta el tipo de suelo, la densidad del cultivo, etc.

Finalmente el manejo del cultivo y las condiciones ambientales son otros factores que afectan de manera directa el ETo, al tomar en cuenta factores como la salinidad o la baja fertilidad del suelo, el uso de fertilizantes, el tipo de suelo, enfermedades, etc, pues afectan de manera directa el desarrollo del cultivo, que eventualmente afectará su evapotranspiración. (FAO, 2002).

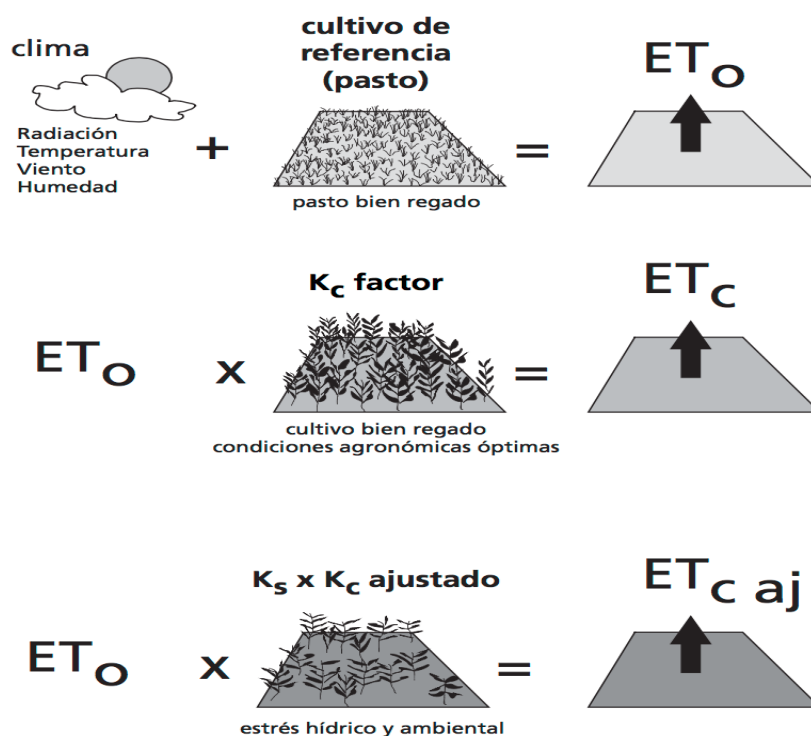


Figura 2. Evapotranspiración del cultivo
Fuente: FAO (2002)

2.12 Requerimientos nutricionales del sorgo.

El sorgo es un cultivo que presenta requerimientos nutricionales similares a otras gramíneas, para la satisfacción de los mismos, es necesario contar con toda la información preliminar como los resultados de análisis de suelos y foliares, los que ayudarán a establecer el contenido de nutrientes necesarios para el desarrollo, y así mismo sus deficiencias. (Carrasco, Zamora, & Melin, 2011).

Los requerimientos nutricionales del sorgo forrajero son de 8 kg.ton⁻¹ MS de Nitrógeno, 3,1 kg.ton⁻¹ MS de fósforo, 11,7 kg.ton⁻¹ MS kg.ton⁻¹, MS de potasio y 1,2 kg.ton⁻¹ MS de Magnesio.(Carrasco, Zamora, & Melin, 2011).

Los requerimientos nutricionales de los cultivos varían con el nivel de producción (fertilización y tecnología de manejo de cultivos), suelo, clima y ambiente.

2.12.1 Nitrógeno.

El nitrógeno junto con el magnesio son principalmente los encargados de la fotosíntesis, pues forman parte principal de la molécula de la clorofila; debido a su presencia la planta toma el color verde característico, e impulsa su desarrollo y crecimiento uniforme. (Ciampitti & García, 2008).

Las deficiencias de nitrógeno en las gramíneas provocan el amarillamiento de toda la planta, debido a que la fijación de clorofila es reducida, la falta de proteína también provoca que las semillas y gran parte de la planta se vean desnutridas, y no puedan cumplir con un correcto desarrollo, por lo que el enanismo es un problema frecuente. (Ciampitti & García, 2008).

Gambudo Sebastián (2013) menciona que:

“En general el sorgo forrajero debe recibir aproximadamente 70 kg de N por media hectárea para obtener un rendimiento meta de 20 a 25 toneladas de materia verde (6 a 7,5 toneladas de materia seca)”.

El sorgo requiere de grandes cantidades de Nitrógeno debido al rápido crecimiento y gran producción de biomasa. Suministrar este elemento en cantidades necesarias en el período que va de 20 a 30 días, permitirá el rápido crecimiento de la planta, e incrementará el área foliar lo que permitirá interceptar la mayor cantidad de rayos solares para transformarlos en biomasa. (Carrasco, Zamora, & Melin, 2011)

Uno de los aspectos más importantes de la fertilización nitrogenada, es el impacto que provoca sobre la calidad del forraje, pues investigaciones realizadas por (Zamora, Melin, & Massigoge., 2008), afirman que es posible pasar de 5 % a 8% de contenido proteico, a efecto de la fertilización nitrogenada óptima para el cultivo.

Según Gambudo Sebastián (2013) las dosis de fertilización recomendadas en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Nitrógeno, Fósforo y Potasio para el cultivo de sorgo forrajero son :

Sierra

| | | |
|-------------------|------------------|---------------|
| Máxima | Moderada | Mínima |
| 120 – 22,7 – 45,5 | 90 – 22,7 – 22,7 | 60 - 22,7 – 0 |

Costa

| | | |
|--------------------|------------------|----------------|
| Máxima | Moderada | Mínima |
| 150 – 27,27– 72,72 | 100 – 27,7 –54,5 | 70 – 27,7 - 90 |

2.12.2 Fósforo P

El fósforo es uno de los elementos primarios que un cultivo requiere, cuya importancia radica en que ayuda a todos los procesos vitales de la planta, en especial la transferencia de energía; además, es parte fundamental de la cadena de aminoácidos genética, por lo que una deficiencia de este nutriente esencial no solo produce manchas de color violáceo, sino que afectan el desarrollo de la planta, e interfieren con la transferencia genética (Ciampitti & García, 2008).

La respuesta del sorgo al fósforo, depende de la cantidad presente en el suelo. La materia orgánica, el pH, y el tipo de suelo son factores fundamentales para la presencia de éste. Los requerimientos del sorgo de este elemento están basados principalmente en el desarrollo del mismo, y la extracción de nutrientes de su área foliar; un déficit del mismo provocará, la coloración violácea, además de la disminución de las hojas en plantas jóvenes (Carrasco, Zamora, & Melin, 2011).

2.12.3 Potasio K

El potasio al igual que el nitrógeno y el fósforo, es considerado como uno de los elementos primarios para un cultivo en especial para las gramíneas; se lo conoce como el elemento de la calidad, pues de éste depende generalmente el desarrollo de la planta, entre sus principales funciones están la osmoregulación y la síntesis de almidones; cantidades adecuadas de este nutriente son esenciales, al momento de soportar grandes cantidades de estrés producidas, por sequías o inundaciones (Ciampitti & García, 2008).

Las deficiencias de este principalmente se observan en las hojas en donde se producen amarillamiento y necrosis en los márgenes principalmente (Ciampitti & García, 2008).

United Sorghum Checkoff Program Board (2011) menciona que:

La disponibilidad de Potasio para la producción de sorgo es muy importante, debido a que mejora la resistencia a enfermedades y plagas marcadamente. La aplicación de potasio es crucial, debido a que la tasa de remoción de Potasio del sorgo puede ser relativamente alta. También se ha demostrado que la formulación más común de Potasio, muriato de potasio o cloruro de potasio (KCl) puede fortalecer el tallo, y por tanto juega un rol importante en la disminución del acame.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Infraestructura

- Granja Experimental ECAA

3.1.2 Insumos

- Semillas de sorgo híbrido Sudán, forrajero, fotosensitivo (*Sorghum vulgare*)
Sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo)
- Fertilizantes : 46-0-0 Urea
18-46-00 Fosfato diamónico
00-00-60 Muriato de Potasio
- Herbicida:
- Linuron

3.1.3 Materiales de campo

1. Maquinaria agrícola
2. Estacas
3. Pala hoyadora
4. Pala plana
5. Azadón
6. Libreta de campo
7. Rollo de piola
8. Rótulos de madera
9. Martillos
10. Grampas
11. Balanza
12. Calibrador pie de rey
13. Cámara fotográfica
14. Sistema de riego
- 14.1 Mangueras

14.2 Aspersores Excel wobblers

3.1.4 Equipos de Laboratorio

1. Balanza Analítica (aeADAM)
2. Destilador
3. Molino (Restsch GM 200)
4. Prensadora (Pellet Press)
5. Bomba Calorimétrica (Parr 6100 CALORIMETER)
6. Equipo de Kjeldahl (InKjel M)
7. Bureta (Titrette)
8. Extractor de Fibra (VELP scientifica)
9. Mufla (WiseTherm)
10. Estufa (memmert)

3.1.5 Materiales de Oficina

1. CROPWAT 8.0 (Software libre)
2. Infostat 2017 (Versión Estudiantil)

3.1.6 Reactivos

- a) Agua destilada
- b) Hidróxido de sodio
- c) Ácido sulfúrico (95-97%)
- d) Hidróxido de potasio (35%)
- e) Acetona
- f) Alcohol Potable (95-96%)
- g) Pastilla catalizadora (Kjeltabs ST)
- h) Agua oxigenada (30% w/v)
- i) Ácido clorhídrico (37%)
- j) Ácido bórico (25%)

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Ubicación del Experimento

Tabla 4
Ubicación del experimento

| <u>UBICACIÓN GEOGRÁFICA</u> | |
|--|---------------|
| PROVINCIA | Imbabura |
| CANTÓN | Ibarra |
| PARROQUIA | San Francisco |
| SECTOR | La Victoria |
| <u>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</u> | |
| LATITUD | N 00°21'50" |
| LONGITUD | W 78°15'40" |
| ALTITUD | 2220 m.s.n.m |
| <u>CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS DEL LUGAR</u> | |
| TEMPERATURA MEDIA | 16,36° C |
| PRECIPITACIÓN ANUAL | 444,8 mm |
| HUMEDAD RELATIVA | 81,08 % |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

3.2.2 Análisis Estadístico

3.2.2.1 Diseño Experimental

Diseño en parcelas divididas

Factor A: 4 láminas de riego

Factor B: 3 dosis de fertilización

Interacción: 12

Repeticiones: 3

Número de Unidades Experimentales (parcela pequeña): 36

3.2.2.2 Prueba de significancia Duncan

La prueba de significancia indicada para la realización del experimento por cada variable de salida evaluada fue la prueba Duncan al 5%, recomendada para el diseño de parcelas divididas por Luna (2008), que fue evaluado en el software de versión libre Infostat 2017.

3.2.3 Factores en Estudio

Factor A Riego

Las dosis de riego (90%, 70%, 50% y 0%), que se utilizarán tienen sus fundamentos en la investigación realizada por Denim & Aguilera (2012), que al probar diferentes dosis de riego llegaron a la conclusión que, no es efectivo probar una lámina al 100% ya que el suelo generalmente no se mantiene con esta humedad, sin embargo, el uso de láminas al 90%, 70 y 50 por ciento demostraron ser efectivas en los resultados obtenidos en la investigación, cabe mencionar que el estudio de la lámina al 50 % ayudará a determinar si el cultivo llegará a un estado crítico en el que podría dejar de desarrollarse, y se usará la lámina al 0 % netamente como grupo control.

Tabla 5
Porcentaje de láminas de riego para el cultivo de sorgo

| LÁMINAS DE RIEGO | |
|-------------------------|---|
| A1 | Lámina de riego al 90% de la capacidad de campo (198,12 mm) |
| A2 | Lámina de riego al 70% de la capacidad de campo (118,87 mm) |
| A3 | Lámina de riego al 50% de la capacidad de campo (79,62 mm) |
| A4 | Lámina 0% de la capacidad de campo |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

Factor B Fertilización

Está basado en la información de la FAO (2002) que propone la dosificación, tomando como referencia la fertilización óptima del cultivo (en estudio), a la cual se le debe aumentar un 20% si se requiere una dosis alta, o se puede disminuir un 20% si se necesita una dosis baja.

Para obtener los resultados de la tabla 6, se realizó un cálculo de fertilización tomando en cuenta las necesidades del cultivo de sorgo, la eficiencia del fertilizante, y la

disponibilidad en el suelo, además de las recomendaciones de la FAO para obtener las tres dosificaciones.

Tabla 6
Dosis de fertilización kg.ha⁻¹ para el cultivo de sorgo

| <u>DOSIS DE FERTILIZANTE (N,P,K)</u> | |
|---|--|
| B1 | N 193 – P 188 – K 205 Fertilización alta |
| B2 | N 154 – P 150 – K 164 Fertilización óptima |
| B3 | N 116 – P 113 – K 123 Fertilización baja |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

Grupo Control

El grupo control o lámina cero no recibirá riego, sin embargo se le aplicará las dosis de fertilización, pues como lo indica la parcela grande es la que presenta el factor más representativo, por lo que se le podrá adicionar más dosis o un grupo control a la misma.

3.2.4 Interacción de los factores en estudio

Tabla 7
Interacción de observaciones riego x fertilización

| Interacción de Observaciones | |
|-------------------------------------|---|
| Códigos | Descripción |
| A1-B1 | Lámina de riego al 90%- dosis de fertilización alta |
| A1-B2 | Lámina de riego al 90%- dosis de fertilización óptima |
| A1-B3 | Lámina de riego al 90%- dosis de fertilización baja |
| A2-B1 | Lámina de riego al 70%- dosis de fertilización alta |
| A2-B2 | Lámina de riego al 70%- dosis de fertilización óptima |
| A2-B3 | Lámina de riego al 70%- dosis de fertilización baja |
| A3-B1 | Lámina de riego al 50%- dosis de fertilización alta |
| A3-B2 | Lámina de riego al 50%- dosis de fertilización óptima |
| A3-B3 | Lámina de riego al 50%- dosis de fertilización baja |
| A4-B1 | Lámina de riego al 0% - dosis de fertilización alta |
| A4-B2 | Lámina de riego al 0% - dosis de fertilización óptima |
| A4-B3 | Lámina de riego al 0% - dosis de fertilización baja |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

3.2.5 Esquema del análisis de Varianza (ANDEVA)

Tabla 8
Análisis de Varianza

| FV | GL |
|---------------------|----|
| TOTAL | 35 |
| Observaciones | 11 |
| Error Experimental. | 22 |
| FACTOR A (RIEGO) | 3 |
| REPETICIONES | 2 |
| ERROR a | 6 |
| PARCELAS GRANDES | 2 |
| FACTOR B (FERT) | 2 |
| INTERACCION AxB | 6 |
| ERROR b | 16 |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

3.2.6 Características de la Unidad experimental

El tamaño de las unidades experimentales fueron de 12 x 8 para la parcela grande, y de 4 x 8 para la parcela pequeña.

Tabla 9
Características del diseño experimental parcela pequeña

| Características de la Unidad Experimental Parcela Pequeña | | | | | |
|---|----------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------------------|---|
| Densidad de siembra del sorgo | Tamaño de la unidad experimental | | Número de surcos | Número de plantas por surco | |
| | Parcela grande | Parcela pequeña | | | |
| Entre plantas (m) | Entre surcos (m) | Tamaño de la unidad experimental (m) | | | |
| Sorgo | 0,50 | 0,70 | 4 x 8 | 11 | 8 |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

Tabla 10

Características del diseño experimental parcela pequeña

| Características de la Unidad Experimental Parcela Grande | | | |
|---|---|------------------|-----------------------------|
| | Tamaño de la unidad experimental Parcela grande (m) | Número de surcos | Número de plantas por surco |
| Sorgo | 12 x 8** | 11 | 24 |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

3.2.6.1 Distribución de las Unidades Experimentales



Figura 3. Distribución de las unidades experimentales
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

3.2.6.2 Diseño de la Unidad experimental Parcela Grande

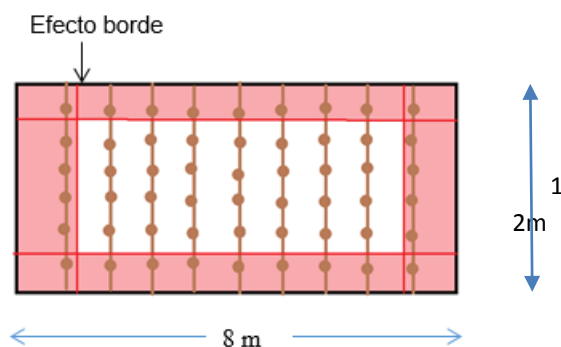


Figura 4. Diseño de la unidad experimental, parcela grande
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

3.3 VARIABLES

3.3.1 Variables independientes

Factor A. Láminas de riego

Factor B. Dosis de fertilizante

3.3.2 Variables dependientes

3.3.2.1 Porcentaje de humedad del suelo

Para la evaluación de este parámetro se utilizará el medidor de humedad de tierra TDR (Time Domain Reflectometry) a una profundidad de 30 cm, que se encarga de determinar con mucha precisión la cantidad de humedad del suelo que nos servirá para calcular el umbral de riego que se detalla a continuación:

Tabla 9

Promedio de porcentajes de humedad de las muestras de suelo

| OBSERVACIONES | UMBRAL DE RIEGO | |
|---------------|---------------------------|----------------------------|
| | Humedad volumétrica (kPa) | Humedad gravimétrica (kPa) |
| 1 | 19,21 | 17,45 |
| 2 | 15,21 | 12,30 |
| 3 | 11,16 | 9,35 |
| 4 | - | - |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

- Cálculo de la Evapotranspiración del cultivo

La evapotranspiración del cultivo o Eto se calculó utilizando el anuario climatológico provisto por la PUCE-SI, que contiene datos ambientales de la estación meteorológica, además del software informático CROPWAT 1.8 desarrollado por la FAO, que utiliza la ecuación de Penman monteith. (FAO, 2002)

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_a - G) + y \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + y(1 + 0.34u_2)}$$

Fuente: (FAO, 2002)

ETo= evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Rn =radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

Ra =radiación extraterrestre (mm día⁻¹)

G f=lujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

T= temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u2= velocidad del viento a 2 m de altura

es – ea= déficit de presión de vapor (kPa) (FAO, 2002)

- Requerimiento de agua del cultivo

El requerimiento de agua para el cultivo de sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo) de este proyecto de investigación se obtuvo a través del uso del ETo el Kc del cultivo y los datos aportados por la estación meteorológica de la PUCE-SI

- Lámina de riego

La lámina requerida para los distintos tratamientos se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$Ln = \frac{cc - PMP}{100} * da * P * \mu$$

Dónde

Ln= Lámina neta (mm)

cc= capacidad de campo (%)

PMP=Punto de marchitez permanente (%)

da= densidad aparente (gr.cm⁻³)

P= profundidad (mm)

μ= umbral de riego

(FAO, 2002)

- **Tiempo de riego**

Para el cálculo del tiempo de riego de cada tratamiento se empleó la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{A * Lr}{Q}$$

Dónde:

Tr= Tiempo de riego (h)

A= Área (m²)

Lr= Lámina de riego (l m⁻²)

Q= Caudal (l h⁻¹)

(FAO, 2002)

- **Kc**

Según la FAO (2002) el kc del cultivo o coeficiente, se obtuvo mediante datos obtenidos a partir de la profundidad de la raíz, las etapas en días del cultivo, y la altura, con ayuda del software CROPWAT 0.8, por la facilidad con la que este proporciona los datos para el sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo) en las condiciones edafoclimáticas de la granja experimental ECAA.

3.3.2.2 Porcentaje de germinación

Para la determinación del porcentaje de germinación se utilizó la metodología establecida por Lorente (2000) la cual indica que para evaluar el porcentaje de germinación se debe considerar el número de semillas utilizadas que en este caso fue de 88 en cada parcela equivalente al cien por ciento, y dependiendo del número de plantas germinadas se realiza una regla de 3.

88 semillas → 100%

70 → x

3.3.2.3 Altura de la planta

Para este parámetro se procedió a medir la altura de la planta desde el cuello de la raíz hasta la punta de la hoja bandera con la ayuda de un flexómetro; esta medida se la realizó a los 30 días, pues según estudios la planta mostraba una altura diferenciada ya que se encuentra en la 3^{ra} etapa de desarrollo, a partir de este momento la planta mostrará su competitividad en cuanto a crecimiento, y también se realizó una toma de altura a los 60 días en su última etapa de desarrollo para diferenciar de la anterior, previos al corte. (Berumena, Serna, Ocampo, Martínez, & Ortiz, 2007)

3.3.2.4 Peso

Peso de materia verde fresca

Consistió en tomar todo el forraje de la parcela neta de cada unidad experimental y pesar en fresco. Esta evaluación se realizó en dos cortes cuando se encontraba en etapa de prefloración. (Franco, Calero, & Durán, 2006)

Peso de materia seca

Según el método gravimétrico determinación de materia seca se extrajeron muestras aleatorias de cada tratamiento hasta juntar un peso de 100g, que se introdujeron a la estufa por 24 horas a 110° con el fin de eliminar la humedad, y una vez terminado se procedió a pesar la muestra y realizar el siguiente cálculo. (Fonseca, 2017)

$$\% \text{ de materia seca} = \frac{100 - (\text{peso inicial} - \text{peso en seco})}{\text{Peso inicial}} \times 10$$

3.3.2.5 Número de macollos

Se realizó el conteo de macollos o hijuelos que se encontraban en la parcela neta de unidad experimental sin contar los que se encontraban en el efecto borde.

3.3.2.6 Análisis Bromatológico

Según el método de análisis bromatológico se tomaron las muestras de materia seca, y luego se trituraron y empacaron en funda de papel para seguir con el análisis de cada una.

- Energía

De acuerdo al método de determinación de energía de la bomba calorimétrica se tomó una cantidad exacta de muestra que no pese más de 0,5g que previamente hayan sido triturados, se colocó en la prensa peletisadora hasta conseguir una pastilla compacta, que luego se introducirá en el calorímetro para medir la energía en $\text{g}\cdot\text{cal}^{-1}$

- Fibra

Para la determinación de Fibra se utilizó el método WEENDE en el que se procedió a pesar aproximadamente 2 g de muestra triturada que se colocaron en vasos berzelius con 200 ml de solución de ácido sulfúrico y se procedió a introducir en el extractor de fibra por 30 min, una vez terminado se enjuagó con agua destilada hirviendo, luego a la misma muestra se le adicionó una solución de 200 ml de hidróxido de sodio y se volvió a poner en el extractor de fibra, una vez terminado, se colocaron los vasos en la estufa a 550 °C por 1 hora o mas hasta llegar a un peso constante y finalmente se tomó el peso del vaso, para realizar los cálculos de Fibra Bruta.

F1 Residuo de los vasos

F2 Cenizas de los vasos

$$\% \text{ fibra cruda} = \frac{F1 - F2}{F2} \times 100$$

- Proteína

El método utilizado para este parámetro fue el de KJHELDAL, para el proceso de digestión se utilizó 2 g. de muestra y se colocaron en un probetón con una pastilla catalizadora 12ml de ácido sulfúrico y 2ml de agua oxigenada, se lo dejó reposar hasta que se vuelva color negro, luego se pasó los probetones al digestor Kjeldahl al 100%

donde permanecieron por 6 horas, o hasta que el color cambie de negro a transparente, se dejó enfriar, luego se introdujeron 50ml de agua destilada y 50ml de hidroxido de sodio al 35%.

Para el proceso de destilación se colo el matraz erlenmeyer en posición para recolectar con 50 ml de ácido bórico al 4% y 10 gotas de indicador rojo tashiro, se colocó un tubo de digestión con 10ml de agua destilada y 10 ml de hidróxido de sodio, hasta recoger por lo menos 100 ml de la muestra en el matraz. Una vez terminado se procedió a titular con 0,02%N HCL hasta que haya un ligero cambio de coloración.

La cantidad que marca la bureta es el dato que se aplica en la fórmula.

3.3.3 Actividades complementarias

- Selección del material genético

Para realizar esta investigación se utilizó semillas de un híbrido de sorgo (Sudán, forrajero, fotosensitivo).

- Preparación del suelo

Para la preparación del terreno, lo primero que se realizó fue pasar el tractor con el arado de cuatro discos, y luego dos pasadas con la rastra, finalmente se dio una pasada con el motocultor para mullir bien la tierra.

- Siembra

La siembra se realizó el día 22 de enero del 2016, de forma manual, con la ayuda de un espeque, a una profundidad de 5 cm. Con una distancia de 50 cm por planta y 70 cm por surco. Se utilizó 1,2 kg de semilla.

- Fertilización.

Para la fertilización inicial se procedió a realizar un cálculo de fertilización basado en el análisis de suelo realizado en el proyecto de investigación sobre láminas de riego, los cuales dieron los siguientes resultados:

Tabla 10
Análisis de suelo Lote 5

| ID | Cantidad |
|------------------|-------------------------|
| pH | 7,2 H ⁺ |
| Textura | Franco arcillo arenoso |
| NH4 | 0,82 mg.l ⁻¹ |
| NH3 | 3,4 mg.l ⁻¹ |
| NH2 | 0,10 mg.l ⁻¹ |
| Fosforo | 3,6 mg.l ⁻¹ |
| Potasio | 10,9 mg.l ⁻¹ |
| Calcio | 51 mg.l ⁻¹ |
| Azufre | 81 mg.l ⁻¹ |
| Manganeso | 0,30 mg.l ⁻¹ |
| Zinc | 0,93 mg.l ⁻¹ |

Fuente: PUCE-SI (2015)

Tabla 11
Requerimiento del cultivo de Sorgo forrajero y eficiencia del fertilizante

| Nutriente | Requerimiento (kg.ha⁻¹) | Eficiencia del fertilizante |
|------------------|---|--|
| N | 114 | 0,7 |
| P | 50 | 0,3 |
| K | 114 | 0,6 |

Fuente: PUCE-SI (2015)

De acuerdo al análisis el requerimiento y la eficiencia del fertilizante se obtuvieron la siguiente tabla de dosis de fertilización.

Tabla 12
Dosis fertilización del cultivo de sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo)

| Dosis | 18-46-00 | Urea | Muriato de potasio |
|-------|--|--|--|
| Alta | 1,25 kg.parcela peq ⁻¹ . | 3,12 kg.parcela peq ⁻¹ . | 2,83kg.parcela peq ⁻¹ . |
| Media | 1 kg.parcela peq ⁻¹ . | 2,53 kg.parcela peq ⁻¹ . | 2,26kg.parcela peq ⁻¹ . |
| Baja | 0,75 kg.parcela peq ⁻¹ . | 1,90 kg.parcela peq ⁻¹ . | 1,70 kg.parcela peq ⁻¹ . |

Fuente: Karina Hidrobo (2017)

La dosis de fertilización se aplicó a todo el experimento en el segundo ciclo del sorgo, 3 días después del primer corte; la extracción de nutrientes del cultivo dependerá de la disponibilidad que existió en el suelo y la fertilización que se aplicó, sin embargo, es necesario aplicar una dosis de fertilización similar a la primera, en el segundo corte para recompensar lo extraído por el cultivo.

- Control de malezas

La deshierba se realizó a los 20 días después de la siembra, de forma manual con un azadón. En total se realizó 3 deshierbas en la presente investigación.

Para el control de malezas se aplicó linuron al inicio de la siembra, para evitar la competencia entre el cultivo y la hierba.

- Cortes

El primer corte se lo realizó a los 60 días después de la siembra, cuando el sorgo se encontraba en etapa de prefloración, en ese momento se pesó y se separó como alimento para el ganado, el segundo corte se lo realizó 73 días después del primer corte, y se procedió de la misma manera que en el primer corte, se lo realizó en diferentes días, pues el corte debía hacerse cuando hubiera más del 50 por ciento de prefloración en el cultivo.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Prueba de normalidad y homogeneidad de la varianza

Al realizar la prueba de normalidad Shapiro - Wilk se determinaron los siguientes valores de *p value* para las variables de dos cortes, en donde se observa que todos los datos se distribuyen normalmente, además se evaluó la homogeneidad de la varianza, con la prueba de Leven, obteniendo valores estadísticos F mayores a 0,05, por lo que se determinó que existe homogeneidad entre los valores.

Tabla 13
Prueba de normalidad Shapiro - Wilk

| Variable | N | \bar{x} | Desviación estándar. | P value | Homogeneidad de la var. Valor F |
|-------------------------------|----|-----------|----------------------|---------|---------------------------------|
| % de humedad del suelo | 36 | 9,38 | 1,88 | 0,0547 | 0,112 |
| % Germinación | 36 | 1,08 | 0,77 | 0,0741 | 0,123 |
| 1° CORTE (60 días) | | | | | |
| Altura 30 días | 36 | 66,6 | 5,77 | 0,0723 | 0,120 |
| Altura 60 días | 36 | 150,69 | 10,75 | 0,0604 | 0,116 |
| Materia Verde | 36 | 3,80 | 3,23 | 0,0808 | 0,132 |
| Materia Seca | 36 | 9,77 | 0,71 | 0,2142 | 0,235 |
| Energía | 36 | 3397,61 | 531,88 | 0,1085 | 0,232 |
| Fibra | 36 | 21,16 | 2,11 | 0,0745 | 0,117 |
| Proteína | 36 | 12,13 | 1,23 | 0,0647 | 0,119 |
| 2° CORTE (133 días) | | | | | |
| Altura 30 días | 36 | 89,41 | 1,16 | 0,0667 | 0,125 |
| Altura 60 días | 36 | 191,84 | 4,25 | 0,0621 | 0,123 |
| Materia Verde | 36 | 38,31 | 1,02 | 0,0700 | 0,117 |
| Materia Seca | 36 | 10,46 | 0,74 | 0,1402 | 0,231 |
| Energía | 36 | 3921,49 | 421,32 | 0,0600 | 0,109 |
| Fibra | 36 | 17 | 1,78 | 0,0598 | 0,118 |
| Proteína | 36 | 7,88 | 0,78 | 0,0712 | 0,132 |

Fuente: Infostat 2017.

N: Número de muestras

\bar{x} : Media

P: p valor.

4.2 Evapotranspiración del cultivo

La Tabla 16 muestra la evapotranspiración para el año 2016, de cada mes, que fue determinada utilizando el software Cropwat 1,8 tomando como base los datos obtenidos por la base meteorológica de la granja experimental ECAA.

Tabla 14
Evapotranspiración, estación ECAA Ciudad de Ibarra

| País Ecuador | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| Estación ECAA (Ibarra) | | | | | | | |
| Altitud 2221 m | | | Latitud 0,35 °N | | Longitud 78,10 °E | | |
| Mes | Tem p Min | Tem p Max | H um. | Vien to | Insol . | Rad | ETo |
| | °C | °C | % | m.s ⁻¹ | Horas | MJ.m ² .día ⁻¹ | mm.dí a ⁻¹ |
| Enero | 11,5 | 22,6 | 80 | 1 | 12,0 | 27,1 | 4,52 |
| Febrero | 11,9 | 22,5 | 82 | 1 | 12,0 | 28,0 | 4,74 |
| Marzo | 11,9 | 23,0 | 81 | 1 | 12,0 | 28,4 | 4,85 |
| Abril | 11,7 | 23,3 | 82 | 1 | 12,0 | 27,6 | 4,69 |
| Mayo | 11,4 | 23,5 | 80 | 1 | 12,0 | 26,1 | 4,35 |
| Junio | 10,9 | 23,8 | 76 | 1 | 12,0 | 25,2 | 4,10 |
| Julio | 10,2 | 23,9 | 73 | 1 | 12,0 | 25,5 | 4,13 |
| Agosto | 9,9 | 24,1 | 69 | 1 | 12,0 | 26,8 | 4,37 |
| Septiembre | 9,6 | 24,5 | 0 | 1 | 12,0 | 27,9 | 3,09 |
| Octubre | 11,1 | 23,9 | 78 | 1 | 12,0 | 27,9 | 4,73 |
| Noviembre | 11,7 | 23,4 | 81 | 1 | 12,0 | 27,2 | 4,60 |
| Diciembre | 11,6 | 23,3 | 80 | 1 | 12,0 | 26,7 | 4,47 |
| Promedio | 11,1 | 23,5 | 72 | 1 | 12,0 | 27,0 | 4,39 |

Fuente: CROPWAT 1.8

MJ : Mega Julls

4.2.1 Requerimiento de agua del cultivo (RAC)

La Tabla 17 muestra los resultados obtenidos por el software de información CROPWAT para el cultivo de Sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo) que fue cultivado en la granja experimental ECAA, donde se puede observar los requerimientos de riego para cada etapa del cultivo, dando un total de 215 mm. en el primer corte; además, se estableció el kc que se detalla para cada mes o etapa del sorgo, y queda establecido como referencia para futuros cortes, por lo que se tomará como referencia para todo el ciclo del cultivo.

Tabla 15

Kc del cultivo sorgo híbrido (Sudán, forrajero, fotosensitivo) de la Ciudad de Ibarra

| Estación ETo ECAA | | | Cultivo | | | | |
|---------------------------|---------|--------|------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| SORGO Est. de lluvia ECAA | | | Fecha de siembra | | | | |
| 22/01/2016 | | | | | | | |
| Mes | Dé cada | Etap a | Kc Coef | Etc mm.día ⁻¹ | Etc mm.dec ⁻¹ | Prec. Efec mm.día ⁻¹ | Req. Riego mm.día ⁻¹ |
| Ene | 3 | Inic | 0,30 | 1,38 | 13,8 | 7,2 | 5,9 |
| Feb | 2 | Inic | 0,30 | 1,40 | 14,0 | 4,2 | 9,8 |
| Feb | 1 | Des | 0,41 | 1,96 | 19,6 | 0,7 | 18,9 |
| Feb | 3 | Des | 0,6 | 2,87 | 22,9 | 3,2 | 19,8 |
| Mar | 2 | Des | 0,79 | 3,78 | 37,8 | 6,7 | 31,1 |
| Mar | 1 | Med | 0,92 | 4,45 | 44,5 | 8,8 | 35,7 |
| Mar | 3 | Med | 0,92 | 4,41 | 48,6 | 8,3 | 40,2 |
| Abr | 1 | Fin | 0,82 | 3,89 | 38,9 | 7,5 | 31,4 |
| Abr | 2 | Fin | 0,60 | 2,81 | 28,1 | 7,2 | 20,8 |
| Abr | 3 | Fin | 0,48 | 2,18 | 2,2 | 0,7 | 2,2 |
| | | | | | 270,4 | 54,6 | 215,8 |

Fuente: CROPWAT 1.8

4.2.2 Láminas de Riego

En la tabla 18 se presentan los valores calculados para alcanzar la CC (capacidad de campo) por las láminas de riego, es decir la cantidad de agua que requerirá el cultivo en mm para reponer, cuando este baje de los porcentajes fijados. Con datos obtenidos de la profundidad de las raíces, específicamente donde receptan más agua, además, de la información de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente proporcionado por la granja experimental de la PUCESI.

Tabla 16
Láminas de riego, tomadas con el Tdr para el sorgo forrajero

| Observaciones | Lámina (mm) |
|---------------|-------------|
| A1 | 198,12 |
| A2 | 118,872 |
| A3 | 79,62 |
| A4 | 0 |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.2.3 Tiempo de riego

En la tabla 19 se observa la profundidad en cm, a la que se midió la humedad del suelo, para la observación A4 no existen datos, pues no se aplicará lámina de riego.

Tabla 17
Tiempo de riego en horas, para el sorgo forrajero

| PROFUNDIDAD (cm) | A1 Lámina 90% | A2 Lámina 70% | A3 Lámina 50% | A4 0% |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------|
| 30 | 0,059 | 0,17 | 0,29 | - |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.3 Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación que se encuentra a continuación fue tomado a los 15 días post siembra, cuando se puede observar la primera hoja sobre el suelo.

En la tabla 20, análisis de varianza para la variable germinación se puede observar que existen diferencias altamente significativas para observaciones, y para el factor A, es decir que el riego tuvo influencia de manera directa a la germinación de las plantas, mientras que el factor B fertilización no tuvo diferencias significativas.

La variabilidad del experimento viene dada por el CV del factor B, siempre y cuando este sea mayor al CV del factor A, esto se debe a que se toma en cuenta la variabilidad de la parcela pequeña o sub parcela, como se observa en el ANDEVA, es este el que explica prácticamente la mayoría de la variabilidad identificada, por lo tanto el CV B de 0,55%, expresa que la variación del experimento se encuentra muy baja demostrando que la toma de datos no tuvo variabilidad, y fue uniforme.

Tabla 18

Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero, para la variable porcentaje de germinación

| FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----|--------|-------|-------|-----------|-----------|----|
| TOTAL | 35 | 124,13 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 115,37 | 10,49 | 68,74 | 2,26 | 3,18 | ** |
| Error Exp. | 22 | 7,72 | 0,35 | | | | |
| Factor A (riego) | 3 | 110,54 | 36,85 | 210,6 | 4,76 | 9,78 | ** |
| Repeticiones | 2 | 1,05 | 0,52 | 0,12 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 3,33 | 0,56 | | | | |
| Parcelas grandes | 2 | 114,92 | 57,46 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 2,99 | 1,49 | 3,32 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interacción AxB | 6 | 1,84 | 0,31 | 0,76 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error b | 16 | 4,38 | 0,27 | | | | |
| CV A | | 0,01 | 0,78 | % | | | |
| CV B | | 0,01 | 0,55 | % | | | |
| \bar{x} | | 95 | | % | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 5, prueba de Duncan al 5% para la variable germinación se observan cuatro rangos de significancia en donde la lámina de riego al 90% presenta el mejor promedio con 97,37% de germinación, lo que la ubica en el rango **a**, mientras que la lámina de riego al 0%

presenta el promedio más bajo con 90,9% de germinación, ubicada en el rango **c**, lo que demuestra que la aplicación de riego al momento de la germinación produce mejores promedios de porcentaje y plantas germinadas.

En el caso del riego al momento de la germinación, se conoce que para que ésta ocurra es necesaria la presencia de agua, por lo que al aplicar dosis de riego en el momento de la siembra los resultados obtenidos fueron muy variados, con respecto a las observaciones que no recibieron riego, así lo mencionan González, Puebla, Seijas, Teresa, & Greco (2011), mientras la necesidad de agua sea satisfecha en el cultivo de sorgo el porcentaje de germinación será mayor, tomando en cuenta esto, no es sorprendente observar que los mejores promedios de altura los presentan aquellas observaciones que recibieron mayores dosis de riego, puesto que la semilla aprovecho este factor para su germinación, demostrando que el uso del agua en el periodo de emergencia es fundamental para cualquier cultivo.

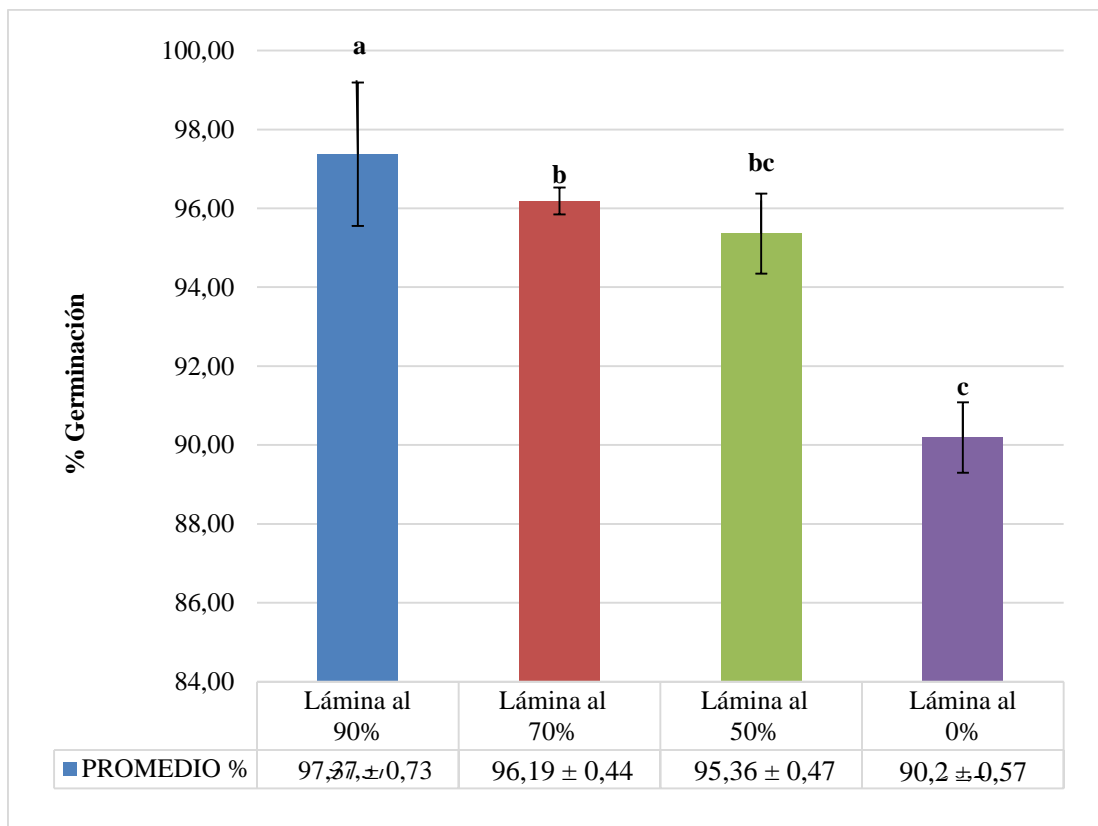


Figura 5. Duncan 5%, para el factor riego en la variable germinación del cultivo de sorgo forrajero
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la Figura 6 correspondiente a porcentaje promedio de germinación del factor fertilización, se observa tres barras de promedios matemáticos, puesto que no existieron diferencias estadísticas, en donde la dosis de fertilización alta es la que obtuvo el mejor

promedio con 95,76% de plantas germinadas, seguida de la dosis de fertilización media que obtuvo un promedio de germinación de 95,34% y finalmente se observa la dosis de fertilización baja con un promedio de 95,05%, al no existir diferencias estadísticas únicamente se observa promedios matemáticos.

En el periodo de germinación la fertilización no es el factor determinante, por lo que no interfiere directamente en este proceso, ya que la reserva de nutrientes se encuentra dentro de la semilla, como lo menciona el consorcio Principia (2010) “Dentro de cada semilla hay una planta embrionaria con reservas de nutrientes”. Lo que explica el hecho de que no fuera estadísticamente significativo o necesario dentro de esta etapa y demostrando que la semilla posee su propia reserva energética que es usada precisamente para la germinación.

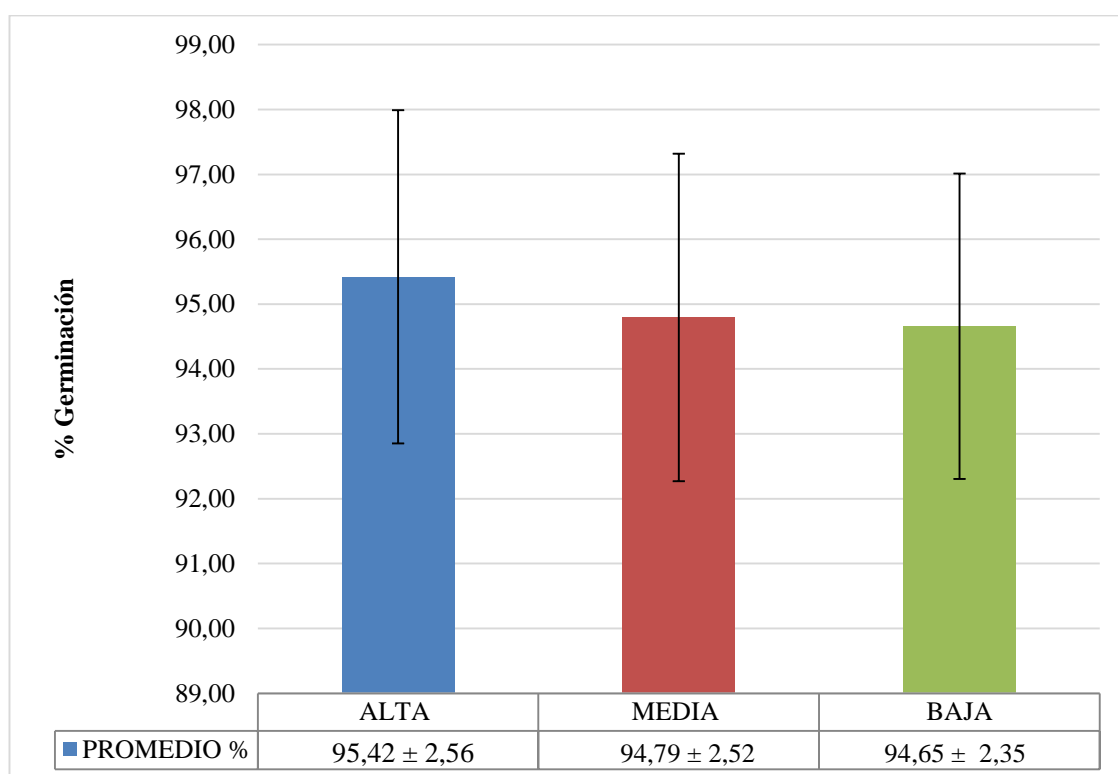


Figura 6. Promedio de porcentaje de germinación, del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 7 promedio de interacción entre riego y fertilización, se observa que los mejores promedios presentan aquellos factores que recibieron las dosis de riego altas, así mismo se observa que disminuyen conforme bajan las dosis, lo que demuestra que existe una relación existente entre estos factores, aunque según lo expuesto por Zeledón *et al.*, (2007), es el riego quién juega el papel fundamental en la etapa de germinación, sin embargo

el apoyo nutricional incentivará un mejor desarrollo embrionario, obteniendo resultados de germinación mayormente uniformes, y demostrando que la relación riego.fertilización es efectiva aún cuando las condiciones no lo son.

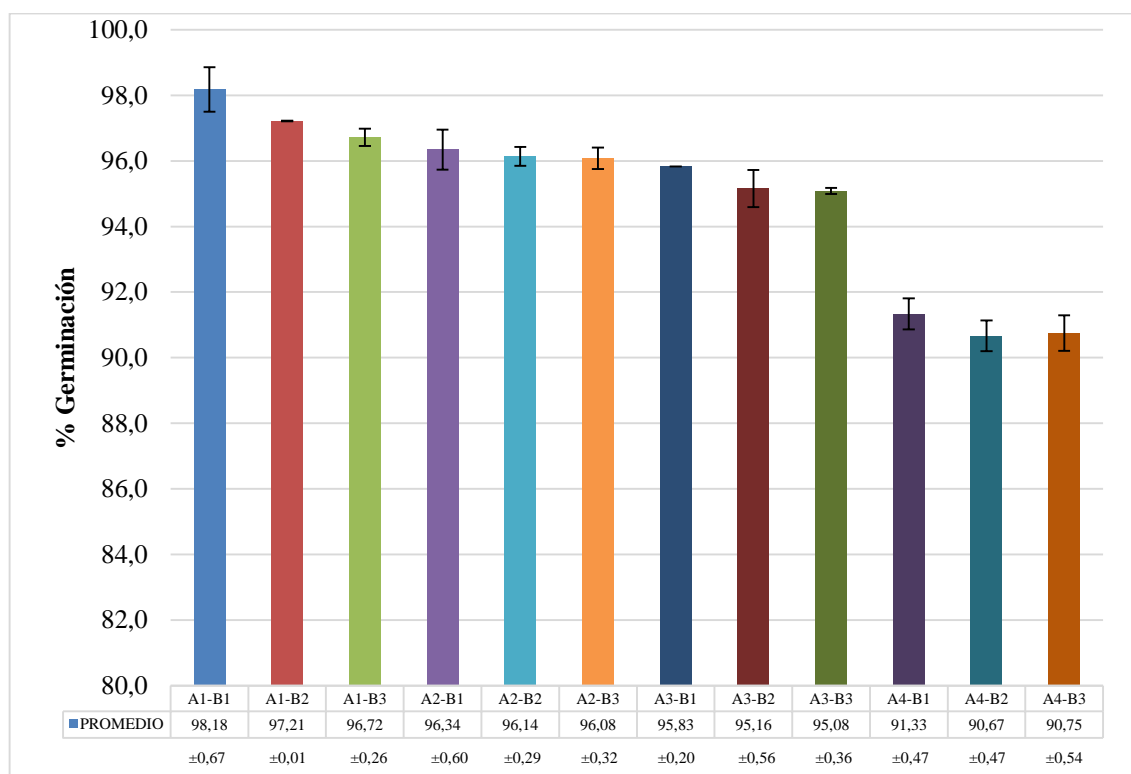


Figura 7. Promedio de interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable germinación

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.4 Número de macollos

La tabla 21 Análisis de varianza para el número de macollos, presenta que existen diferencias significativas para las observaciones, lo que demuestra que existen diferencias estadísticas entre tratamientos.

Para el factor A riego existen diferencias significativas, es decir que el número de macollos es diferente, aunque para el factor fertilización no existen diferencias.

La interacción entre el factor A y B no presenta evidencias estadísticas de que exista diferencias significativas.

El coeficiente de variación es de 5%, demostrando que en el proyecto los datos tomados de esta variable no tienen gran variabilidad entre ellos, es decir es homogéneo la toma de datos.

Tabla 19

Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable número de macollos

| FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----|-------|------|----------|-----------|-----------|----|
| TOTAL | 35 | 20,75 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 10,75 | 0,98 | 2,43 | 2,26 | 3,18 | * |
| Error Exp. | 22 | 8,83 | 0,40 | | | | |
| Factor A (riego) | 3 | 9,19 | 3,06 | 4,94 | 4,76 | 9,78 | * |
| Repeticiones | 2 | 1,17 | 0,58 | 0,94 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 3,72 | 0,62 | | | | |
| Parcelas grandes | 2 | 14,08 | 7,04 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 1,17 | 0,58 | 1,83 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interacción AxB | 6 | 0,39 | 0,06 | 0,20 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error b | 16 | 5,11 | 0,32 | | | | |
| CV A | | 0,07 | 7,00 | % | | | |
| CV B | | 0,05 | 5,00 | % | | | |
| \bar{x} | | 2 | | Macollos | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la Figura 8 correspondiente a prueba de Duncan al 5% para el número de macollos, se observa que existen diferencias en la producción de los mismos, donde el déficit de agua en las observaciones control, actúa de manera negativa impidiendo un macollaje eficiente, por lo que se observan 4 rangos, siendo el mejor la lámina al 90% ubicada en el rango **a** con un promedio de 5,67 macollos, mientras que en el rango **cd** o último se encuentran las observaciones con la lámina de riego 0% con un promedio de 1,67 macollos, demostrando que mientras menos agua exista el poder de macollaje del sorgo se vuelve ineficiente. Para las láminas de riego de 70 y 50 % los promedios los ubican en el rango **b** y **c** 3,33 y 2,33, respectivamente.

El número de macollos se encuentra entre 4 a 6 macollos por planta, sin embargo aumenta mediante el incremento del recurso hídrico, como lo menciona en su trabajo de titulación Martínez (2012), pues condiciones hídricas favorables para el cultivo de sorgo, ayuda a que el cultivo incremente su poder de macollaje, por esta razón las observaciones con la lámina de riego más alta obtuvieron mayor cantidad de macollos, mientras que las observaciones sin riego, obtuvieron una muy baja cantidad de macollos, incluso menor a la del promedio.

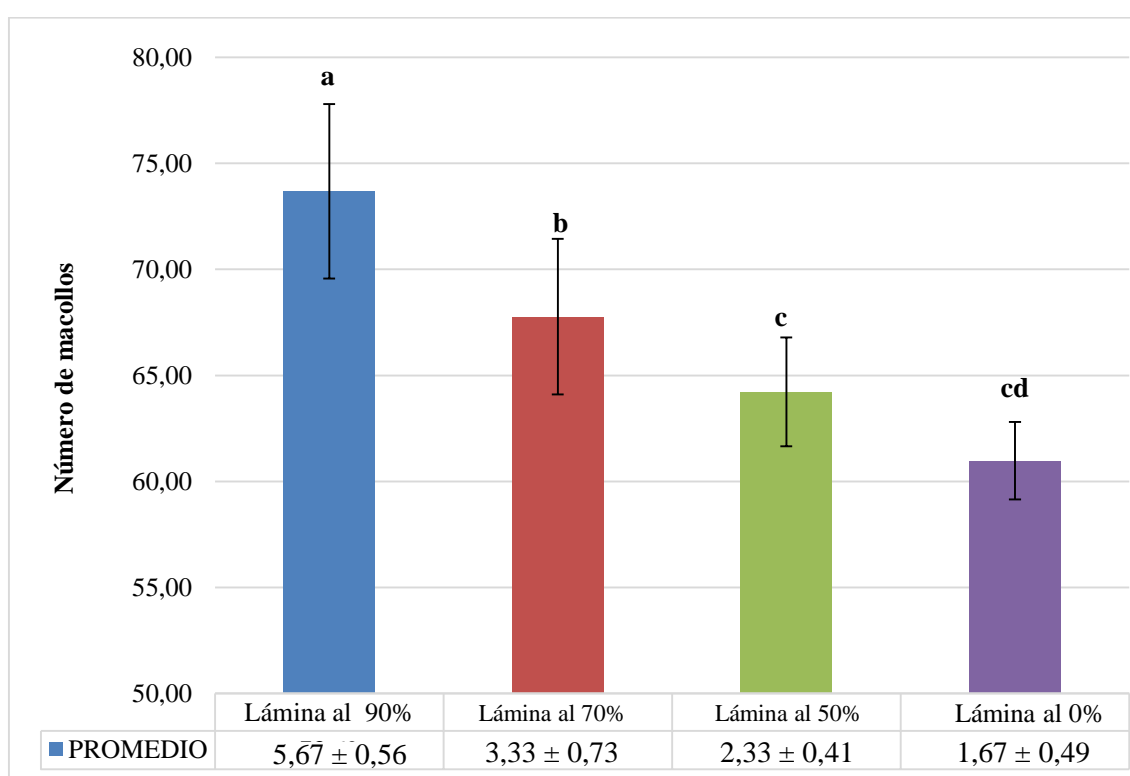


Figura 8. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable número de macollos del cultivo de sorgo forrajero.

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

La figura 9 promedio de número de macollos, muestra las diferencias matemáticas que presentó el factor fertilización, en donde la dosis de fertilización alta obtuvo el mejor promedio con 4 macollos, mientras que la dosis baja presenta el peor promedio con 2,8 macollos.

De igual manera que las condiciones hídricas, una correcta fertilización, y estado del suelo, ayudan a que el sorgo incremente su poder de macollaje, por eso en la figura 9 se observa que mientras más alta la dosis de fertilización, hay un mejor promedio de número de macollos, lo que concuerda con lo expuesto por Martínez (2012), quién menciona, que el

macollaje del sorgo no solo mejora con el factor riego, sino también la fertilización juega un papel importante en esta variable.

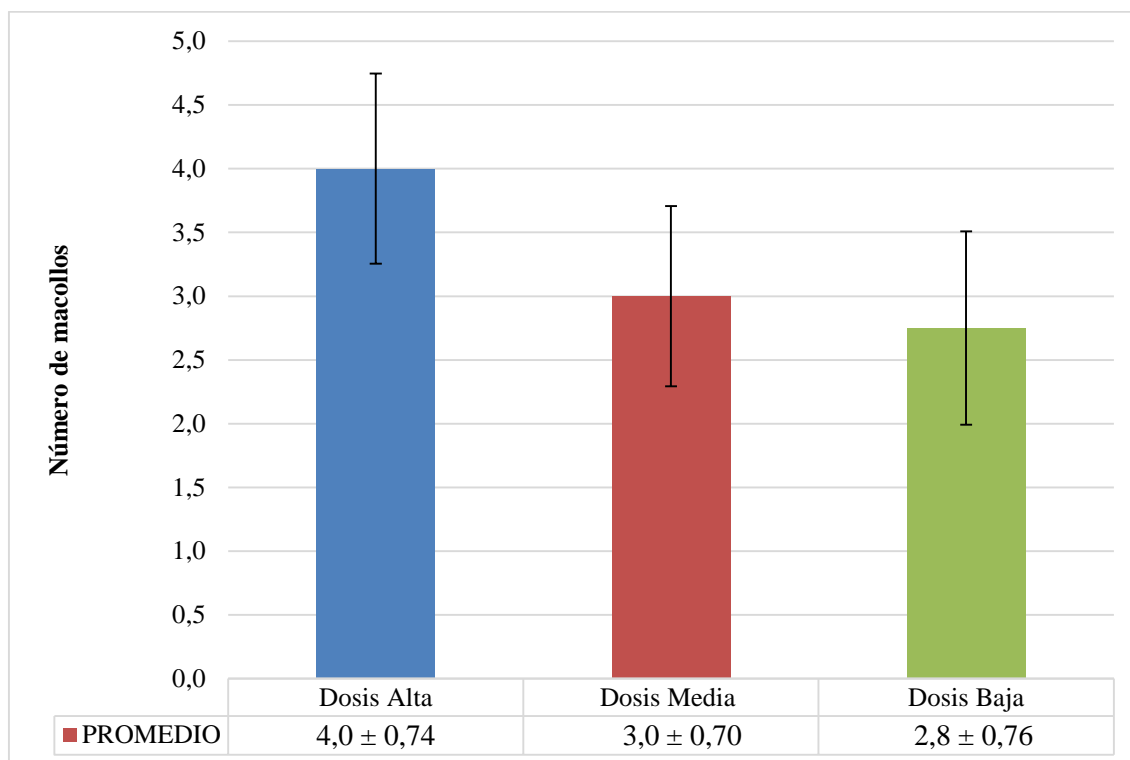


Figura 9: Promedio de número de macollos del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización.
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

A pesar de no existir diferencias significativas que evidencien que la interacción de los factores en estudio produce cambios, es evidente que favorece a las observaciones con la mezcla de riego y fertilización más alta, pues mientras al sorgo se lo maneje con condiciones favorables de riego y fertilización, su comportamiento mejorará, a pesar de no encontrarse en las condiciones óptimas para su desarrollo, tal como lo demuestra el número de macollos, de la figura 10 promedio de interacción entre riego y fertilización para número de macollos.

Al igual que en la discusión de la germinación, es importante mencionar que la relación existente entre el riego y la fertilización, produce el desarrollo de un cultivo, y en el caso del sorgo es evidente, así se observa en la figura 10, demostrando que a más agua y más fertilización, el resultado será un mejor desarrollo de la planta de sorgo.

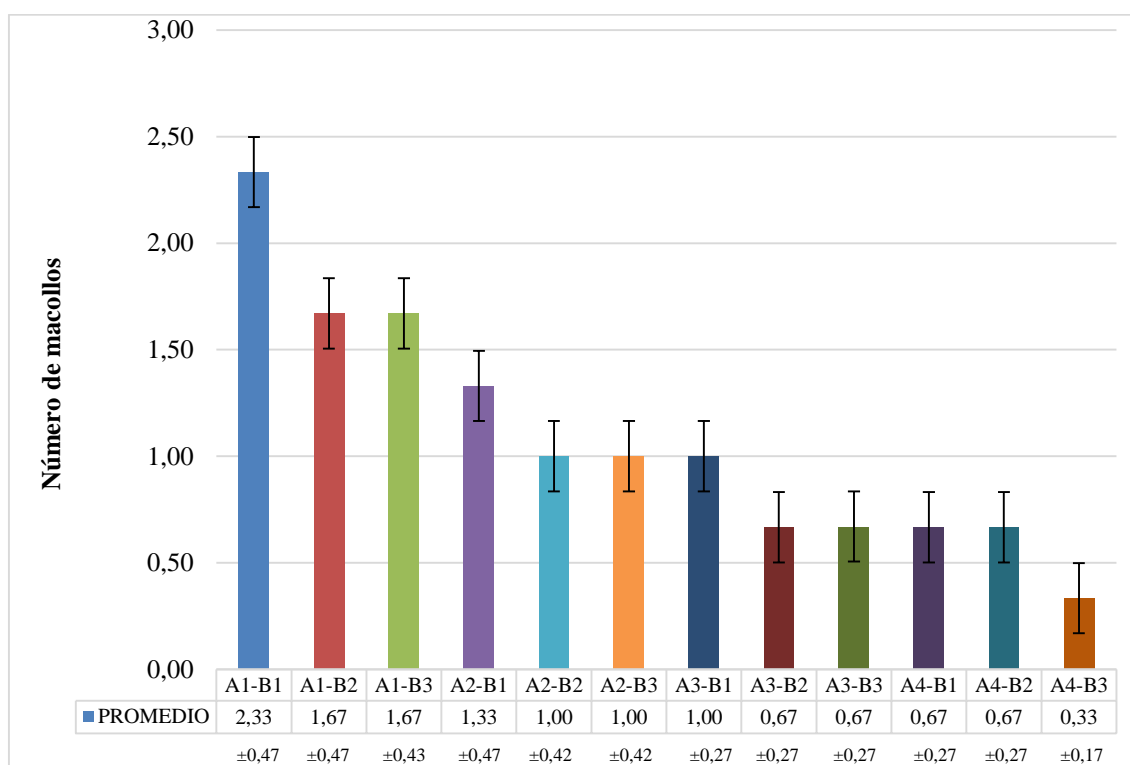


Figura 10. Promedio de interacción entre riego y fertilización del cultivo de sorgo forrajero para el número de macollos

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

PRIMER CORTE

4.5 Altura de la Planta

30 Días

En la tabla 22 correspondiente a análisis de varianza altura 30 días, del sorgo forrajero, se puede observar que existen diferencias altamente significativas para observaciones, también para el factor A, es decir que el riego es en este caso el factor más influyente para la variable altura, el factor B fertilización, no presentó diferencias significativas, al igual que la interacción entre los dos factores.

Para el factor A, se deberá aplicar la prueba de significancia Duncan al 5% para determinar cuál es la lámina de riego efectiva para esta investigación.

El resultado del coeficiente de variación CV, B es 4,24%, relativamente bajo, que demuestra que los datos no son tan variados con respecto a la media.

Tabla 20*Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura 30 días, 1° corte*

| FV | G L | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----------|--------|--------|------|-----------|-----------|----|
| TOTAL | 35 | 1162,2 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 859,69 | 78,15 | 5,76 | 2,26 | 3,18 | ** |
| Error Exp. | 22 | 298,33 | 13,56 | | | | |
| Factor A (riego) | 3 | 799,16 | 266,39 | 9,36 | 4,76 | 9,28 | * |
| Repeticiones | 2 | 4,26 | 2,13 | 0,07 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 170,67 | 28,45 | | | | |
| Parcelas grandes | <u>2</u> | 974,09 | 487,05 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 56,04 | 28,02 | 3,51 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interacción AxB | 6 | 4,49 | 0,75 | 0,09 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error b | 16 | 127,66 | 7,98 | | | | |
| CV A | | 0,08 | 8 | % | | | |
| CV B | | 0,04 | 4,24 | % | | | |
| \bar{x} | | 66,7 | | cm | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la Figura 11, correspondiente a Duncan al 5%, para la variable altura se observa que existen 4 rangos de significancia, en donde los datos de la lámina al 90% se ubican en el rango **a**, con el mejor promedio 73,7cm, para la variable altura, mientras que las láminas al 70 y 50% con promedios de 67,78 y 64,22 se ubican en los rangos **b** y **c** respectivamente, lo que hace evidente que mientras más cantidad de agua se aplique al cultivo de sorgo, existe más posibilidad de que su desarrollo sea óptimo, en el último rango **cd** se encuentra la lámina de riego al 0% con un promedio de 61 cm, siendo el promedio más bajo estadísticamente.

Según Martínez (2012) la altura a los treinta días, es el tercio de etapas de crecimiento del sorgo, por lo que en este punto es necesario un buen suministro de riego y nutrientes, para alcanzar un buen crecimiento, lo que como consecuencia, incrementará el tamaño del sorgo, y por consiguientes se obtendrá un mayor rendimiento, por lo tanto como se observa la figura 11 los mejores promedios lo obtuvieron las plantas de sorgo a las que se les aplicó

la lámina de riego más alta, mientras que los de la lámina baja, presentaron un menor crecimiento, concordando con lo antes expuesto, y demostrando que el riego es un factor determinante en el crecimiento de la planta.

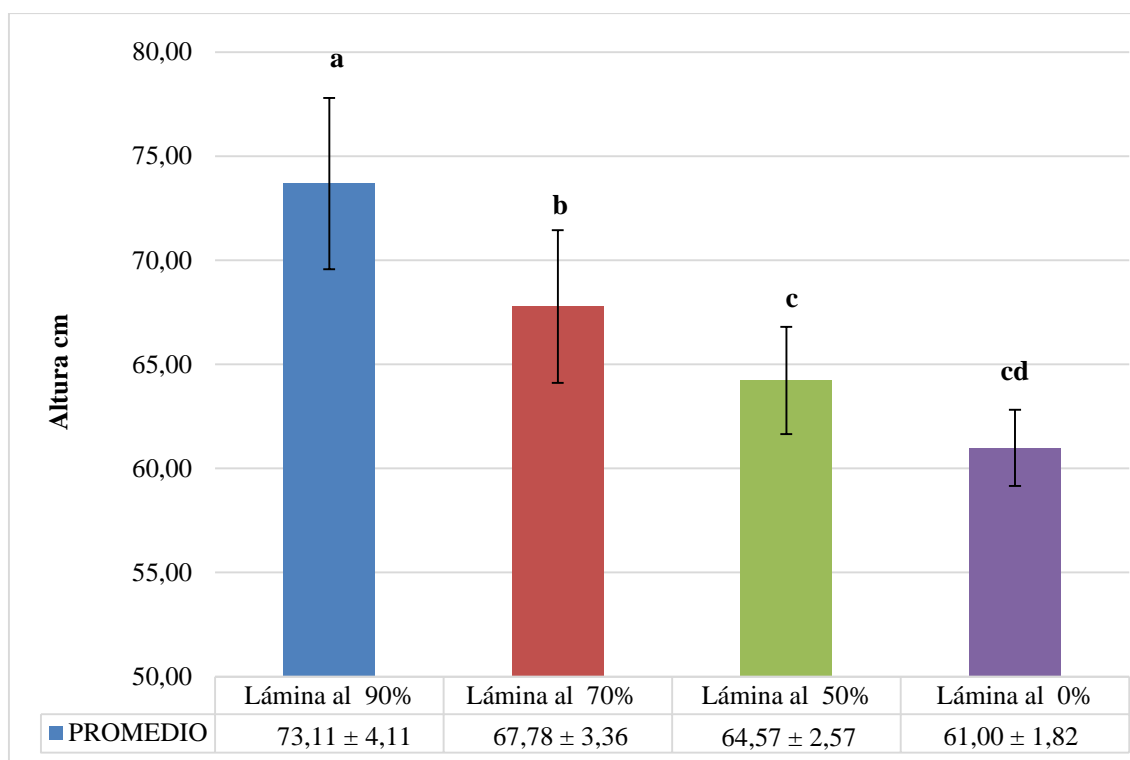


Figura 11. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable altura del cultivo de sorgo forrajero. 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 12 correspondiente a promedio de altura del sorgo forrajero, se observa la diferencia de promedios para el factor fertilización, al no existir diferencias significativas, demuestra que los promedios estadísticamente son similares, a pesar de ello se observa que la dosis de fertilización alta, es la que presentó el mejor promedio con 68,3cm de altura, mientras que la dosis baja presentó el promedio más bajo con 65,8 cm de altura.

La altura de la planta de sorgo con una correcta aplicación de fertilización alcanzará en promedio los 70cm a los 30 días después de la siembra, Fassio, Cazzolino, Ibañez, & Fernández (2002), por lo que al comparar con los resultados obtenidos en la figura 12 es evidente, que el promedio con la fertilización alta concuerda con lo antes mencionado, sin embargo los promedios de la dosis media y baja no, pues las dosis de fertilización, no fueron satisfechas en su totalidad.

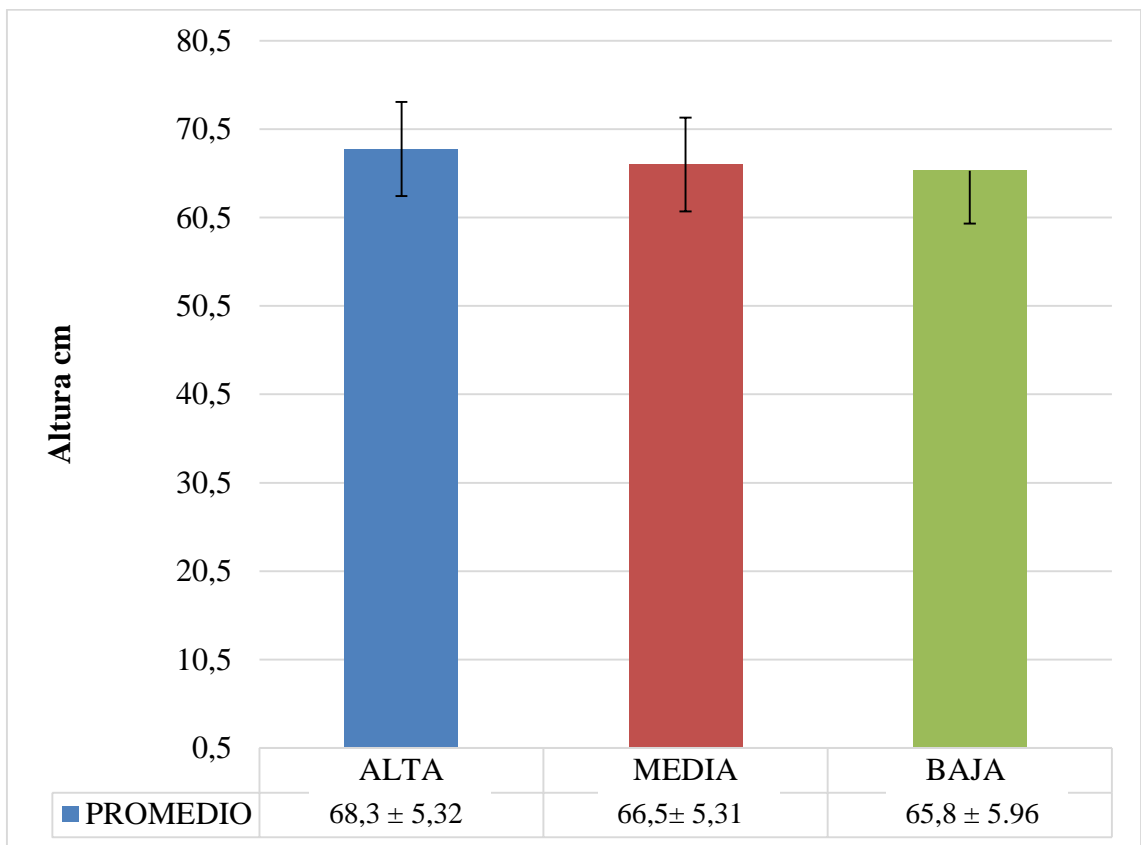


Figura 12. Promedio altura de la planta, del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización, 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 13 correspondiente a promedios para interacción de la variable altura, se observa que los rangos de altura van disminuyendo conforme las dosis de riego y fertilización desciende, por lo que se dice que matemáticamente los promedios para esta variable son diferentes.

Pero también es claro que la interacción, en realidad, interfiere de manera directa, pues es visible que a mayor grado de lamina hídrica y fertilización, mayor promedio de altura, así mismo a menor grado de aplicación de riego y fertilización los promedios disminuyen, sin embargo la interacción de estos también interfiere mejorando los resultados, lo que demuestra que la relación entre estos dos factores, mejorará de manera directa el desarrollo de un cultivo, demostrando así que tanto el riego como la fertilización son dos factores importantes para cualquier cultivo.

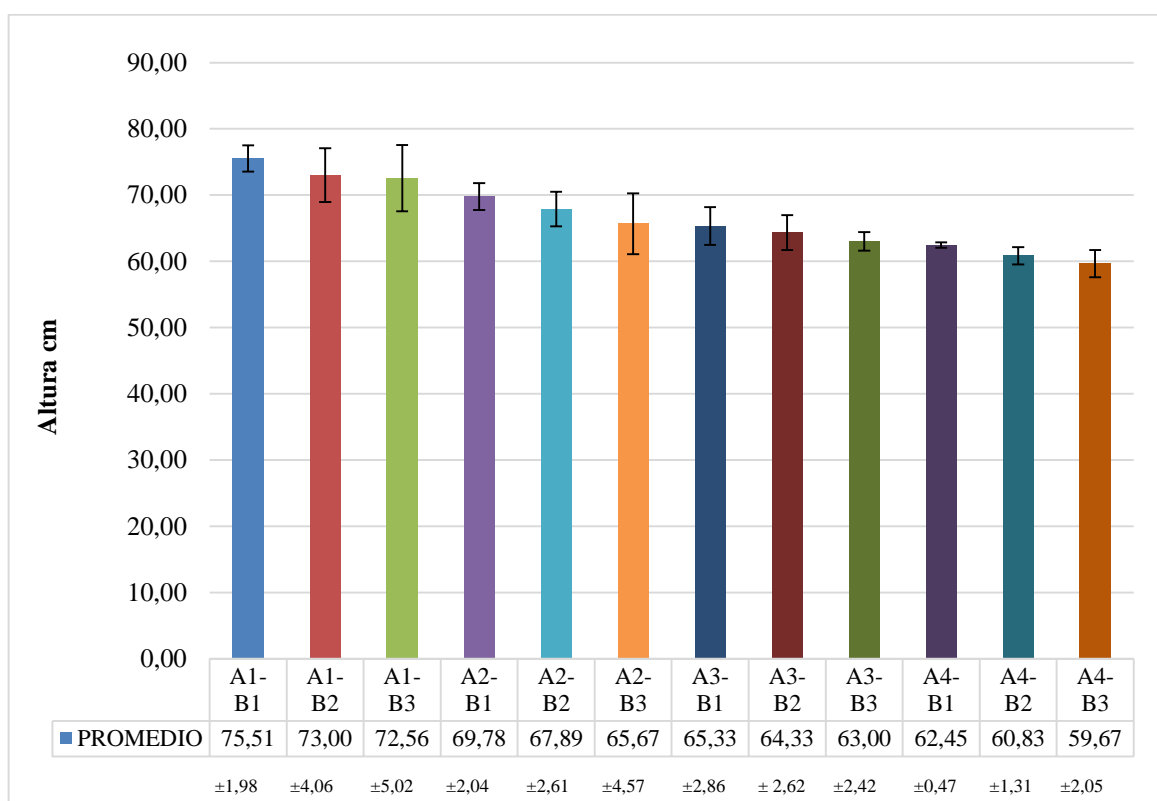


Figura 13. Promedios de interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura, 1° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

60 Días

En la tabla 23 correspondiente a Análisis de varianza, para Altura 60 días se puede observar que no existen evidencias significativas para observaciones, lo que indica que estadísticamente las observaciones son iguales, es decir los promedios obtenidos no son afectados por los factores en estudio.

Para el factor A, no existen diferencias significativas que demuestren que los promedios son estadísticamente diferentes, para el factor B sucede lo mismo, al igual que para la interacción.

El coeficiente de variación es de 6,44 % lo que demuestra que la variabilidad de datos con respecto a la media es baja, es decir se encuentra dentro de los rangos normales para una investigación de campo, lo que quiere decir que la variabilidad entre los datos obtenidos no es tan diferente, sino constante.

Tabla 21

Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura de la planta 60 días, 1° corte.

| FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----|---------|---------|------|-----------|-----------|----|
| Total | 35 | 4439,37 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 1558,04 | 141,64 | 1,28 | 2,26 | 3,18 | ns |
| Error exp. | 22 | 2428,22 | 110,37 | | | | |
| Factor A(riego) | 3 | 1403,43 | 467,81 | 3,00 | 4,76 | 9,78 | ns |
| Repeticiones | 2 | 453,11 | 226,55 | 1,45 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 934,53 | 155,75 | | | | |
| Parcelas grand. | 2 | 2791,06 | 1395,53 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 135,07 | 67,53 | 0,72 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interacción axb | 6 | 19,54 | 3,26 | 0,03 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error b | 16 | 1493,70 | 93,36 | | | | |
| CV A | | 0,08 | 8,31 | % | | | |
| CV B | | 0,06 | 6,44 | % | | | |
| \bar{x} | | 150,14 | | cm | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 14 correspondiente a los promedios del factor riego, en la que se observa una tabla matemática para los promedios de altura a los 60 días, en donde se puede observar las diferencias que existen entre estos, siendo el mejor el de la lámina al 90% con un promedio de 158,2 cm de altura, mientras que la lámina al 0% presentó el promedio más bajo con 141,2 cm de altura.

Estos promedios concuerdan con los obtenidos por Amador & Boschini (2000), que fueron en promedio de 149.90 cm de a los 70 días, en condiciones favorables y con una aplicación de riego que satisfizo las necesidades del cultivo de sorgo, comparados con los de la figura 14, con promedios de 158cm, para la lámina más alta, se hace evidente que es mejor, a pesar de no encontrarse en las condiciones óptimas del sorgo, además es también evidente que la lámina baja, es similar, apoyando lo mencionado por Pérez *et al.* (2010) , su gran aptitud para soportar la sequía.

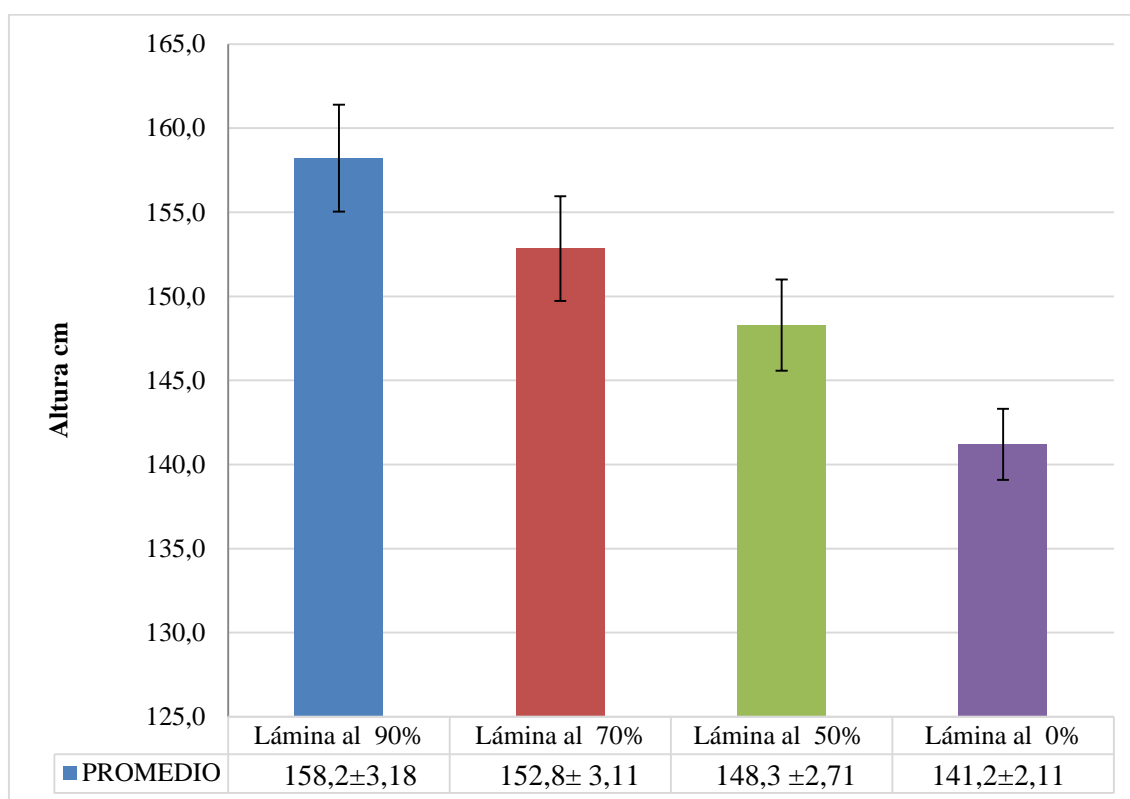


Figura 14. Promedios altura de la planta, del cultivo de sorgo forrajero para el factor riego, 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la Figura 15 correspondiente a los promedios de altura para el factor fertilización, que al igual que el factor A riego no presentan diferencias significativas entre si, sin embargo, es evidente que matemáticamente la dosis de fertilización alta (lámina de riego al 90%) obtuvo el mejor promedio con 152,5 cm de altura, con una diferencia de 2 cm para cada tratamiento, mientras que la dosis más baja de fertilización obtuvo el menor promedio con 147,8cm de altura.

Carrasco, Zamora, & Melin (2011) mencionan que en la etapa comprendida entre los 60 días o, 5° etapa la absorción de nutrientes se vuelve rápida, y una buena humedad del suelo mantendrán la planta de sorgo con un crecimiento constante, mientras que el estrés hídrico podría reflejarse en una disminución en la altura del mismo, concordando con lo que se observa en las figuras 15 de promedios de altura, en donde es claro que mientras disminuye el riego y la fertilización los promedios de altura disminuyen.

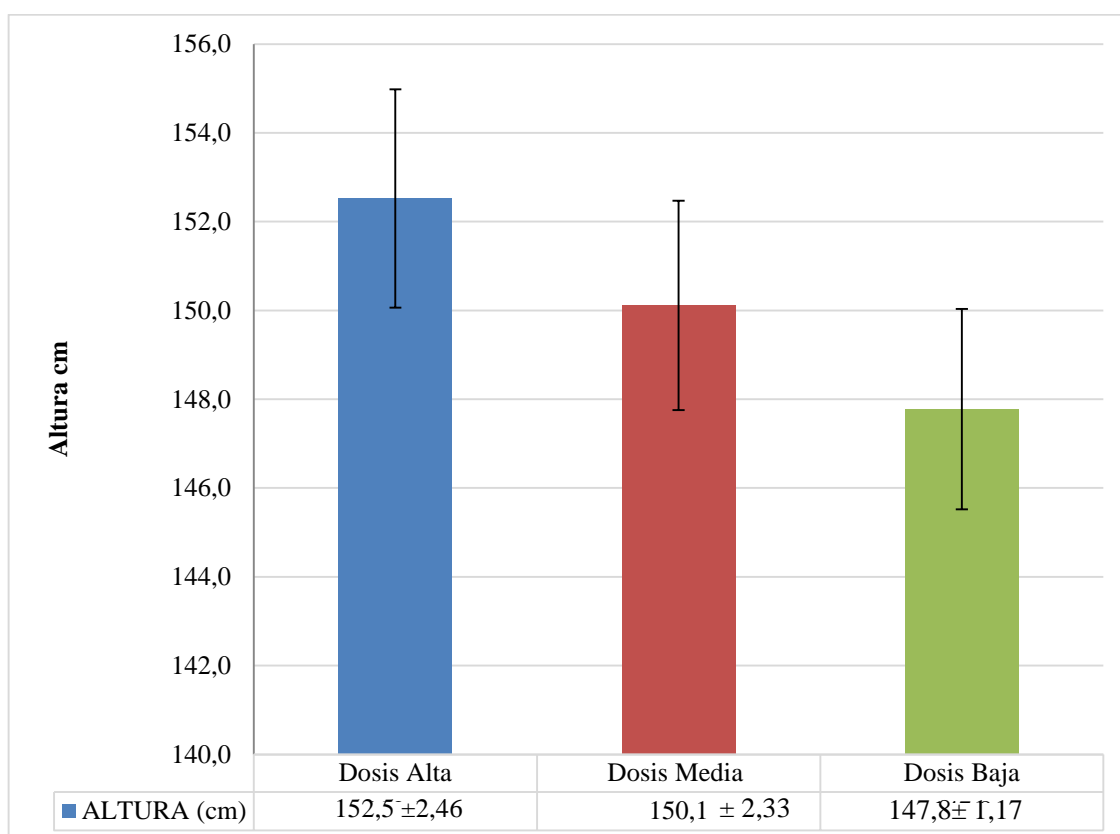


Figura 15. Promedio altura de la planta, del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización, 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la etapa comprendida entre los 60 días o 5° etapa la absorción de nutrientes se vuelve rápida, y una buena humedad del suelo mantendrán la planta de sorgo con un crecimiento constante, mientras que el estrés hídrico podría reflejarse en una disminución en la altura del mismo Carrasco, Zamora, & Melin (2011), por esta razón en las figuras 15 y 16 de promedios de altura, es claro que mientras disminuye el riego y la fertilización los promedios de altura disminuyen concordando con lo antes mencionado.

En la figura 16, se observa el promedio de materia verde para la interacción, en la que es evidente, que los factores que recibieron dosis de riego y fertilización altas, fueron los que presentaron mejores promedios, mientras que los que recibieron dosis bajas presentan los promedios más bajo, aunque en los factores a los que solo se disminuyó las dosis de riego en un 70 y 50 no existen gran diferencia, mientras que los factores a los que no se aplicó riego pero si fertilización disminuyeron drásticamente comparado con los que recibieron.

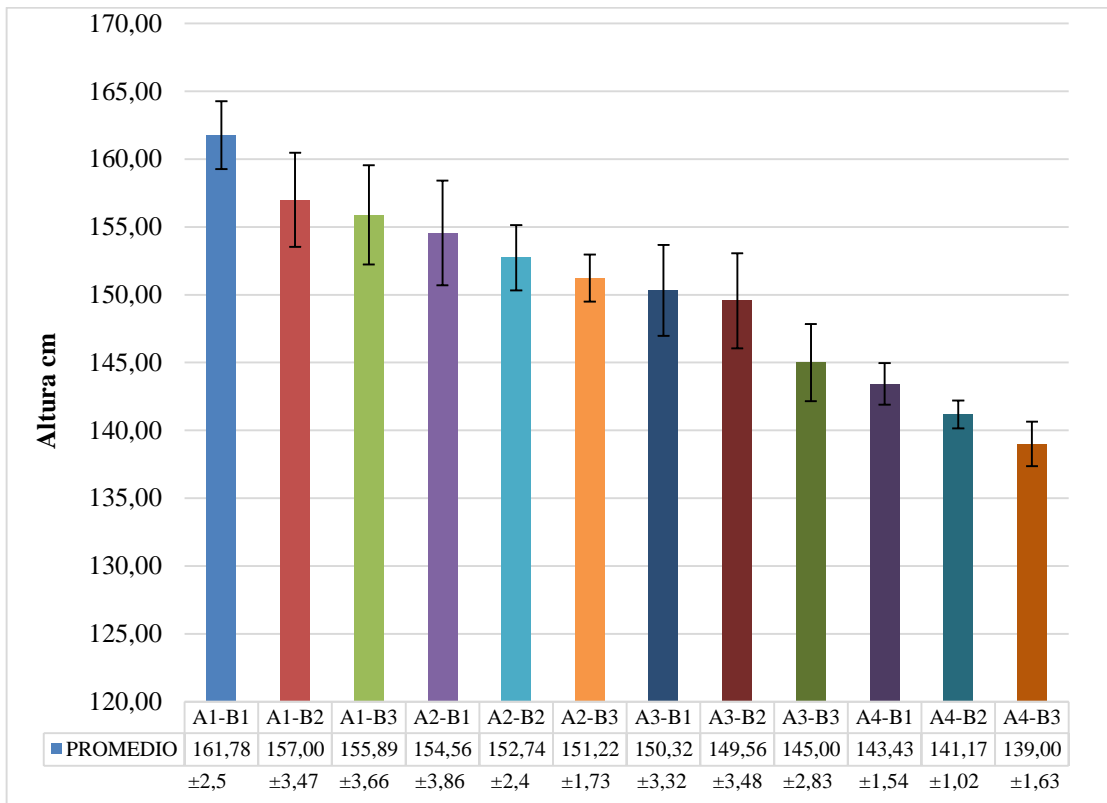


Figura 16. Promedio de Interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura de la planta, 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.6 Peso de materia verde (fresco)

En la tabla 24 correspondiente a Análisis de varianza de materia verde, se observa que existen diferencias altamente significativas para las observaciones y para el factor A, por lo que se realizará la prueba de Duncan al 5% para determinar los rangos de esta variable.

No existen evidencias significativas para el factor B, así como para la interacción entre factor A y B.

El coeficiente de variación es de 7,06 % para el primer corte, lo que revela que existe una baja variabilidad entre datos, es decir se encuentran cercanos a la media, y no existen grandes diferencias entre los resultados promedios.

Tabla 22*Análisis de varianza para materia verde, del sorgo forrajero, 1° corte*

| | FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|---------------------|----|----|---------|--------|-------------------------|--------|--------|----|
| Total | | 35 | 40334,8 | | | | | |
| Observaciones | | 11 | 381,03 | 34,64 | 6,66 | 2,26 | 3,18 | * |
| Error exp. | | 22 | 114,35 | 5,20 | | | | |
| Factor A (riego) | | 3 | 241,77 | 80,59 | 19,41 | 4,76 | 9,78 | * |
| Repeticiones | | 2 | 9,39 | 4,70 | 1,13 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | | 6 | 24,92 | 4,15 | | | | |
| Parcelas grand. | | 2 | 276,09 | 138,04 | | | | |
| Factor F (fert) | | 2 | 5,25 | 2,62 | 0,47 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interacción axb | | 6 | 10,26 | 1,71 | 0,31 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | | 16 | 89,43 | 5,59 | | | | |
| CV A | | | 0,06 | 6,09 | % | | | |
| CV B | | | 0,07 | 7,06 | % | | | |
| \bar{x} | | | | 33,8 | t.ha ⁻¹ 1 | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 17 correspondiente a Duncan al 5% para la variable peso, se puede observar que existen 4 rangos de significancia, en el que la lámina de riego al 90% es la que presenta el mejor promedio con 36,27 t.ha⁻¹ ubicada en el rango **a**, mientras que más bajo se encuentra la lámina 0% con un promedio de 29,9 t.ha⁻¹, ubicándolo en el rango **bc**, lo que demuestra que es el tratamiento que reaccionó de manera menos efectiva.

El rendimiento en materia verde del sorgo forrajero para las condiciones de la granja ECCA arrojaron, como el mejor promedio, el que recibió la lámina de riego al 90% con 36,27 t.ha⁻¹ que al igual que en el ensayo de González *et al.* (2011) obtuvieron rendimientos similares, al satisfacer más del 80% de la capacidad de campo, llegando casi hasta las 40

t.ha⁻¹, por lo que a pesar de encontrarse en condiciones desfavorables prácticamente, demostró tener gran capacidad de adaptabilidad.

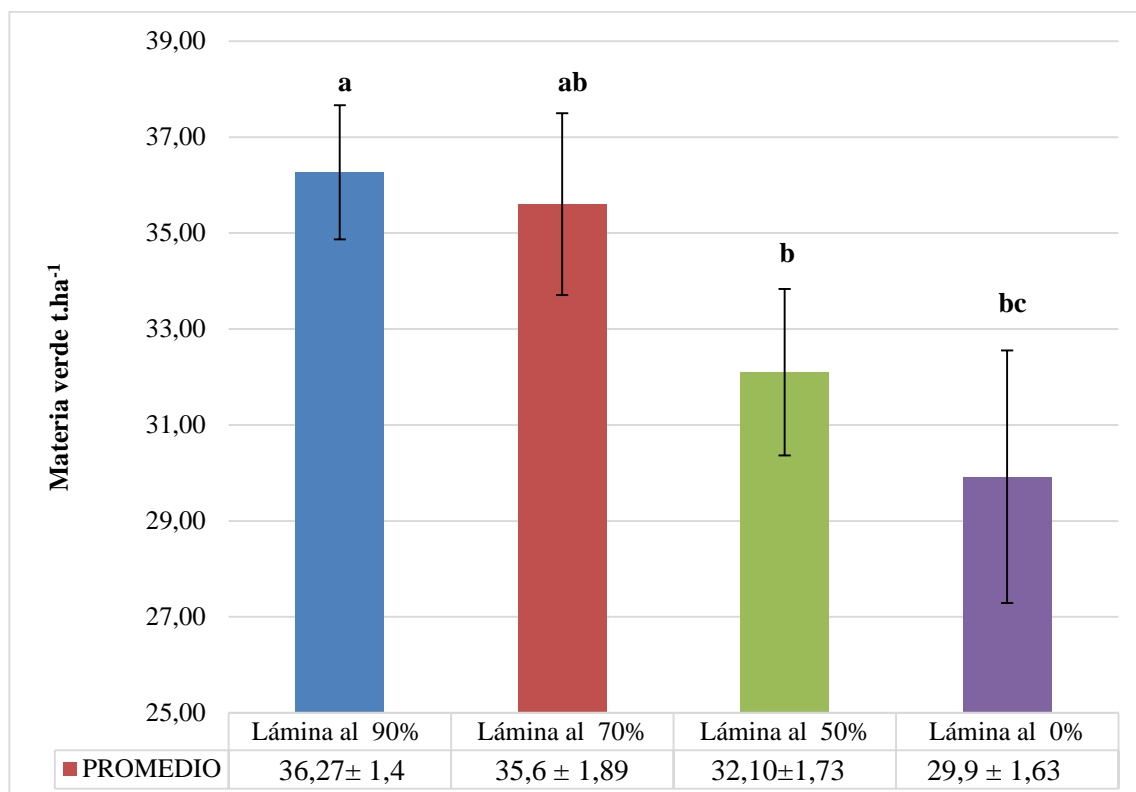


Figura 17. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable materia verde del cultivo de sorgo forrajero. 1º corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 18 se visualiza los promedios de peso para el factor B fertilización, los cuales al no presentar diferencias estadísticas, se procedió a compararlos matemáticamente, dando como resultado que la dosis de fertilización alta, produjo el mejor promedio con 36.27 t.ha⁻¹, y la dosis baja un promedio de 29,9 t.ha⁻¹, siendo la mejor la dosis alta.

A pesar de no representar estadísticamente diferencias en el caso de producción de materia verde, por el factor fertilización, como se observa en la figura 14, se hace evidente que la buena aplicación de nutrientes en un cultivo incentiva la productividad del mismo, junto con una correcta aplicación de riego y un manejo adecuado para el cultivo. (FAO, 2002); A pesar de no ser representativos los promedios de materia verde es evidente, que al incrementar la dosis de fertilización los promedios de forraje verde fueron superiores, aunque no significativamente.

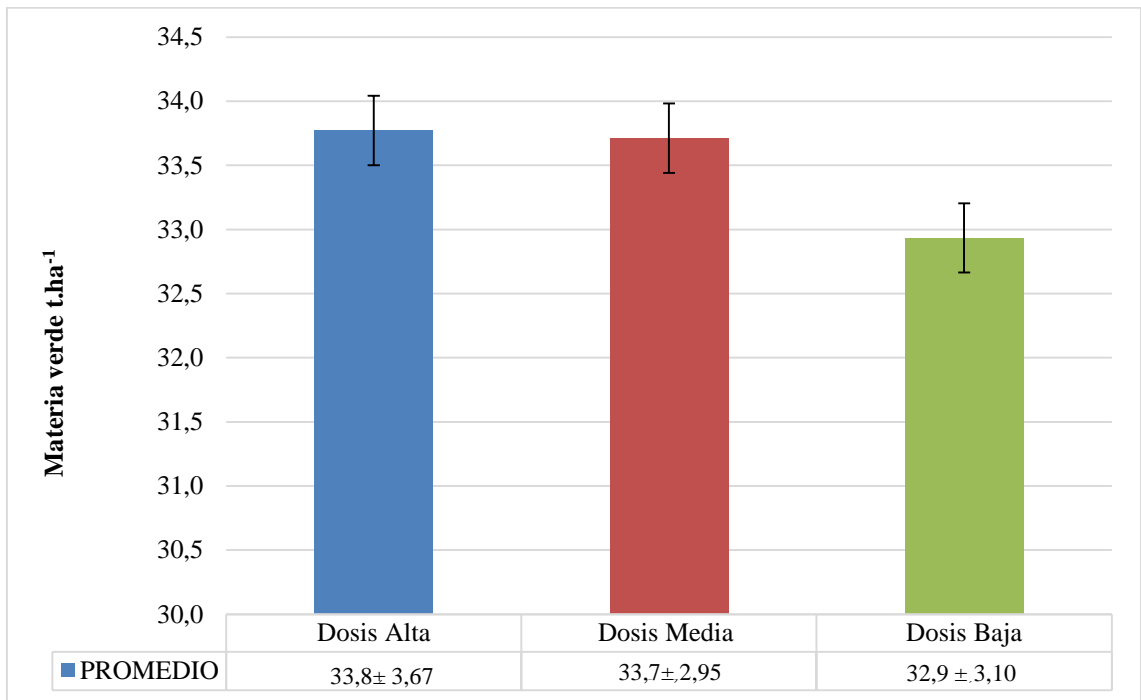


Figura 18. Promedio de materia verde del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización, 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 19, correspondiente a promedios de interacción para la variable materia verde se puede observar que el rango disminuye según baja las dosis de riego y fertilización, dando como resultado que el factor que recibió la dosis alta tanto de riego como fertilización, es mejor al que recibió la dosis baja.

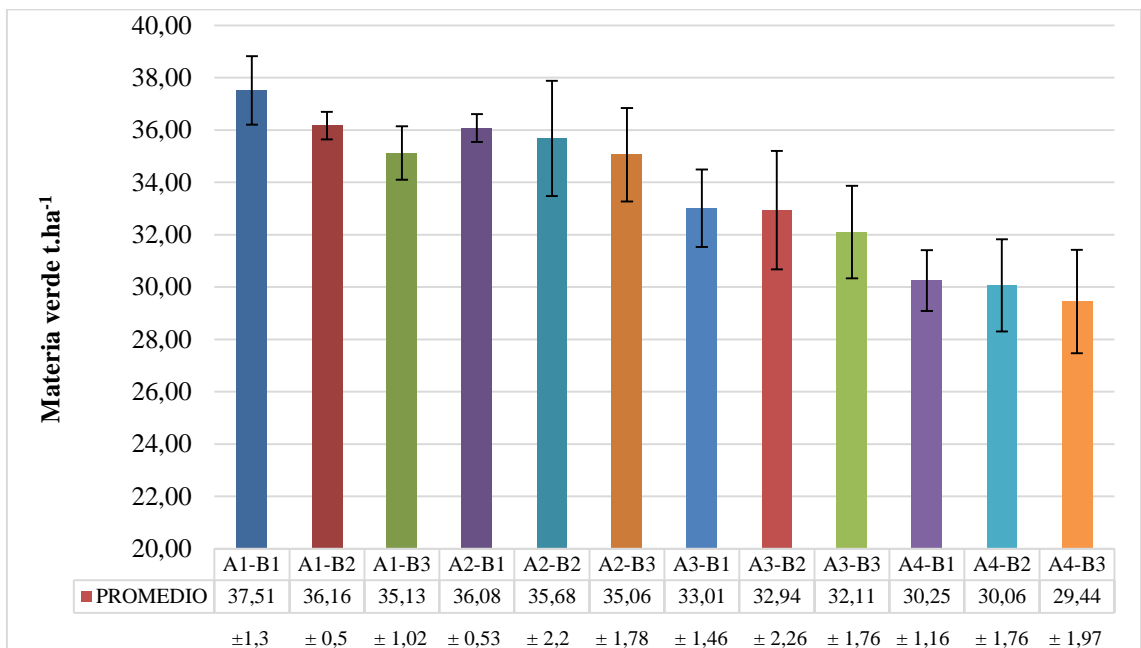


Figura 19. Promedios de interacción riego y fertilización, para la variable rendimiento de materia verde del sorgo forrajero 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.7 Materia Seca

En la Tabla 25 correspondiente a Análisis de varianza de materia seca, se puede observar que existen diferencias significativas para observaciones al igual que para el factor A, por lo que se deberá aplicar la prueba de Duncan al 5%.

Para el factor B no existen diferencias significativas, por lo que se realizará una tabla de promedios, al igual que para la interacción.

El coeficiente de variación para esta variable es de 9,94% que se encuentra dentro de los rangos permitidos, para una investigación de campo, lo que demuestra que está realizado de forma correcta.

Tabla 23

Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia seca, 1° corte

| FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----|---------|-------|--------------------|-----------|-----------|----|
| Total | 35 | 3066,94 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 58,00 | 5,27 | 6,11 | 2,26 | 3,18 | ** |
| Error exp. | 22 | 18,97 | 0,86 | | | | |
| FactorA(riego) | 3 | 37,24 | 12,41 | 13,55 | 4,76 | 9,78 | ** |
| Repeticiones | 2 | 1,02 | 0,51 | 0,56 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 5,50 | 0,92 | | | | |
| Parcelas gran. | 2 | 43,76 | 21,88 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 0,43 | 0,22 | 0,26 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interac. axb | 6 | 0,33 | 0,06 | 0,07 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | 16 | 13,47 | 0,84 | | | | |
| CV A | | 0,10 | 10,37 | % | | | |
| CV B | | 0,10 | 9,94 | % | | | |
| \bar{x} | | | 9,23 | t.ha ⁻¹ | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 20 Duncan al 5% para materia seca, se puede observar que se obtuvieron 4 rangos, siendo mejor el rango **a** con un promedio de 10,5 t.ha⁻¹ seguido por el rango **ab** con

un promedio de 9,8 t.ha⁻¹, como lo antes mencionado aquellos tratamientos que tuvieron láminas al 50 y 0 % de la capacidad de campo fueron los que presentaron rendimientos menores, con 8,8 y 7,8 t.ha⁻¹ respectivamente ubicándolos en los rangos **b** y **c**.

De acuerdo a la investigación realizada por Fassio, Cazzolino, Ibañez, & Fernández (2002) el mejor rendimiento obtenido de materia seca en sorgo forrajero, fue de aproximadamente 13 t.ha⁻¹, en condiciones óptimas para este cultivo; comparando estos resultados con los obtenidos en esta investigación, se puede observar que los tratamientos que tuvieron una lámina de riego alta, obtuvieron un promedio de 10,54 t.ha⁻¹, que no llegan a ser totalmente buenos, sin embargo, cabe notar, que en las condiciones en las que se desarrolló este cultivo no fueron las mejores, es más se podría decir que prácticamente el sorgo fue forzado a desarrollarse en un ambiente desfavorable.

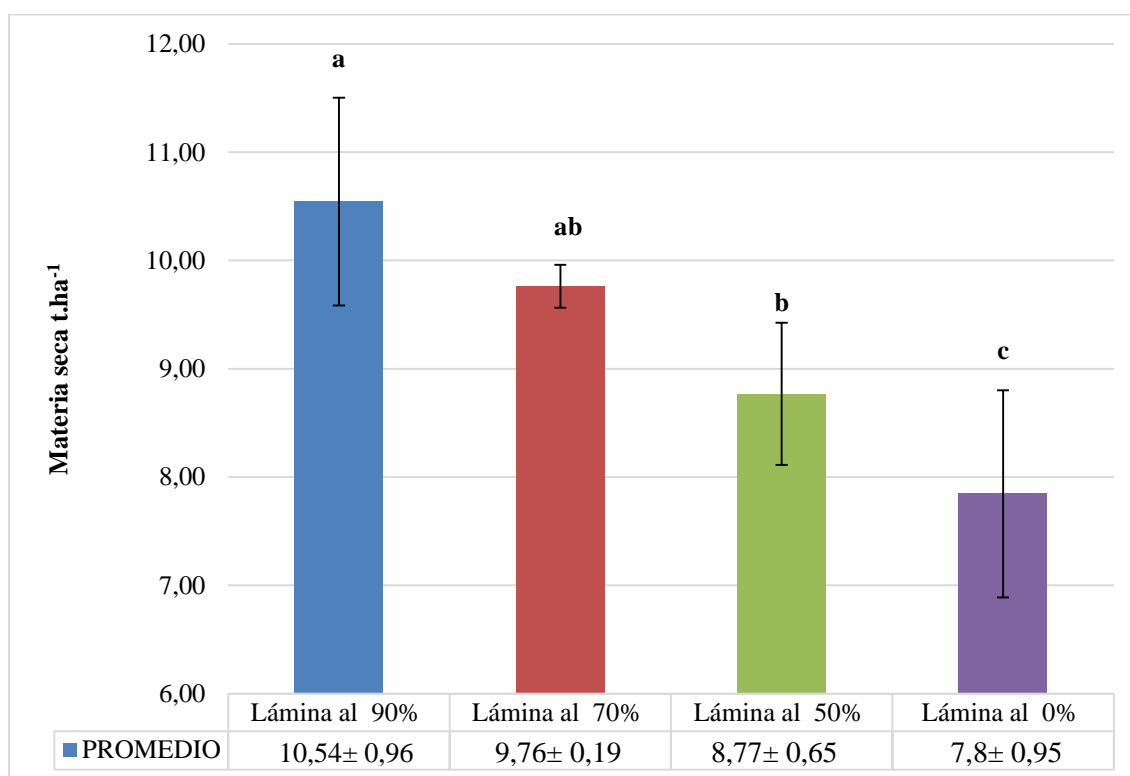


Figura 20. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable materia seca del cultivo de sorgo forrajero. 1° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 21 se detalla los promedios para fertilización, los cuales no presentaron diferencias estadísticas, sin embargo se observa que el mejor rendimiento lo obtuvo el

tratamiento de dosis alta con un promedio de 9,4, seguido de las dosis media y baja que obtuvieron promedios similares con 9,2 y 9,1 t.ha⁻¹ materia seca.

El promedio de materia seca obtenido por la FAO (2002) fue de 7 t.ha⁻¹, luego de una aplicación de fertilizante que cumpliera con satisfacer las necesidades del cultivo de sorgo, al comparar estos resultados con los obtenidos en esta investigación que fueron de 9,4 t.ha⁻¹, para la dosis alta y 9,1 t.ha⁻¹, para la dosis baja, se llega a la conclusión de que estos, fueron mejores que los de la FAO, a pesar de desarrollarse en condiciones desfavorables, y de recibir dosis de inexacta para este cultivo.

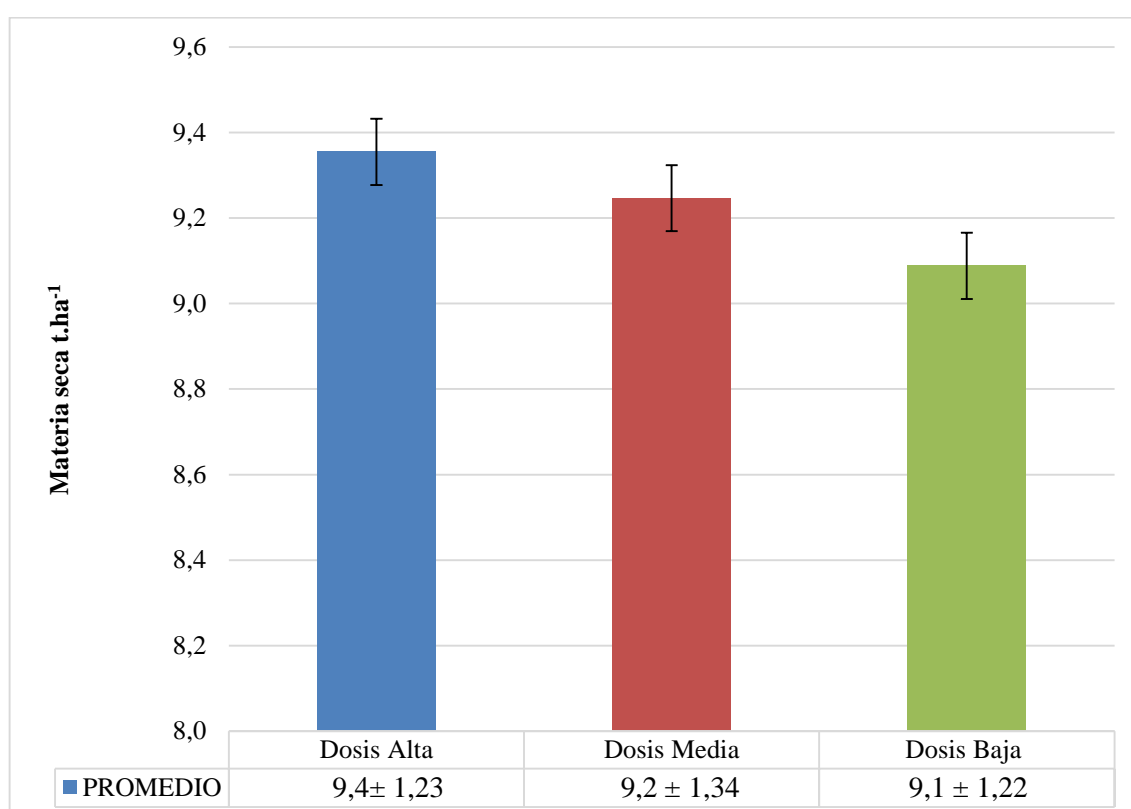


Figura 21. Promedios de materia seca, del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización, 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 22 se puede observar que existen diferentes niveles de promedio de la interacción riego y fertilización para la variable materia seca, en donde los mejores promedios los obtuvieron los factores que recibieron las dosis altas de riego y fertilización, mientras que para los factores que recibieron dosis bajas ocurrió lo contrario.

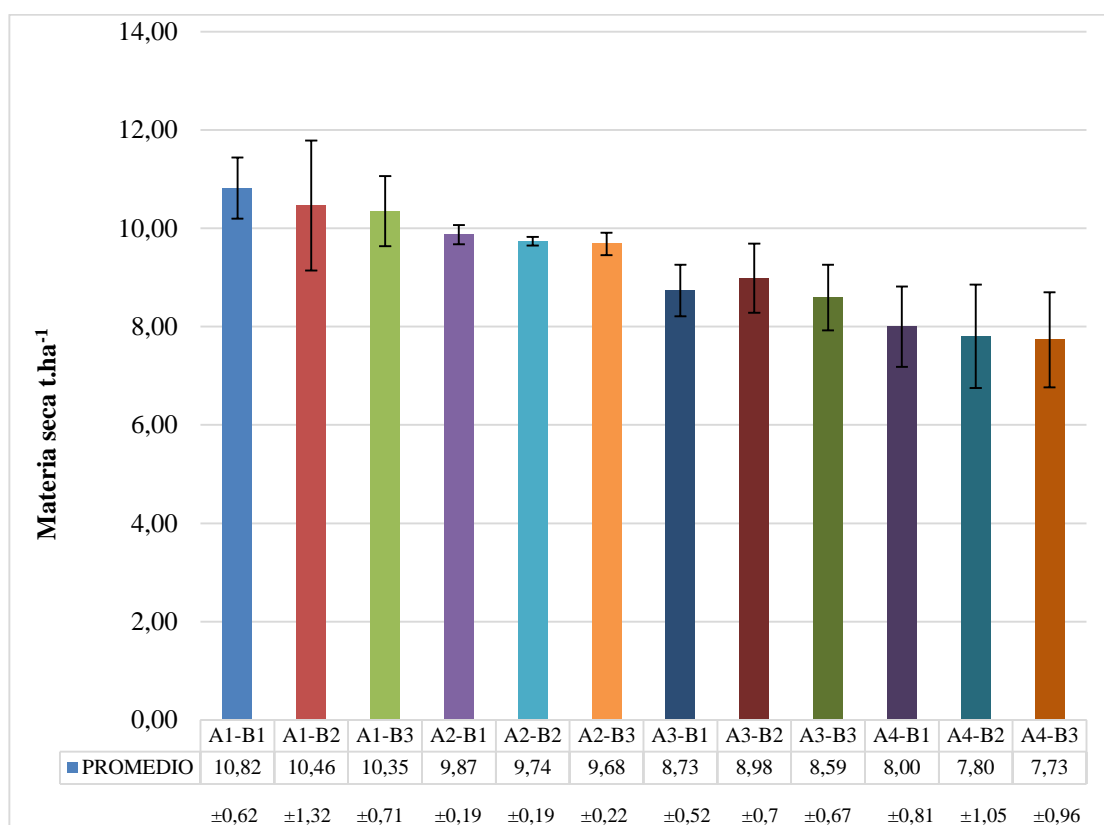


Figura 22. Promedios de interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia seca, 1° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.8 Análisis Bromatológico

4.8.1 Energía

En la tabla 26 correspondiente a Análisis de Varianza de la variable energía, se observa que no existen diferencias significativas para observaciones, ni para los factores A riego y B fertilización, tampoco para la interacción, el coeficiente de variación es de 5,47%, ya que el análisis de la investigación fue hecho en laboratorio este porcentaje es aceptable pues no está fuera de los rangos permitidos.

Al ser un análisis realizado en laboratorio las diferencias son insignificantes pues, los valores son tomados de manera exacta.

Tabla 24*Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía, 1° corte*

| FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----|--------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|----|
| Total | 35 | 468931172,21 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 2643609,15 | 240328,10 | 2,10 | 2,26 | 3,18 | ns |
| Error exp. | 22 | 1905689,32 | 86622,24 | | | | |
| Factor A (riego) | 3 | 594224,54 | 198074,85 | 1,89 | 4,76 | 9,78 | ns |
| Repeticiones | 2 | 54269,01 | 27134,51 | 0,26 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 629745,73 | 104957,62 | | | | |
| Parcelas gran. | 2 | 1278239,29 | 639119,64 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 49435,89 | 24717,94 | 0,63 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interacción axb | 6 | 39990,39 | 6665,06 | 0,17 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | 16 | 629745,73 | 39359,11 | | | | |
| CV A | | 0,09 | 8,93 | % | | | |
| CV B | | 0,05 | 5,47 | % | | | |
| \bar{x} | | | 3609,14 | cal.g ⁻¹ | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 23 correspondiente a promedio de la variable energía, no se aplicó la prueba de Duncan, porque no existieron evidencias significativas de que exista diferencias estadísticas entre promedios, sin embargo es evidente que la lámina al 90% presentó el promedio más alto con 3803,6 cal.g⁻¹ de energía respecto a todos los tratamientos, mientras que la lámina al 0% presentó el promedio más bajo de energía con 3453,1 cal.g⁻¹.

Para determinar el comportamiento energético de un forraje, en la investigación realizada por Gambudo (2013), se observó que en la época de sequía, el rendimiento energético de un forraje disminuye al existir menor cantidad de agua, por lo que al observar el comportamiento energético del sorgo de esta investigación se llega a determinar que satisfacer correctamente las necesidades de agua al cultivo, incrementará el valor energético

del mismo, tal y como se muestra en la figura 23, en donde las observaciones con mayor dosis de agua incrementan su valor energético.

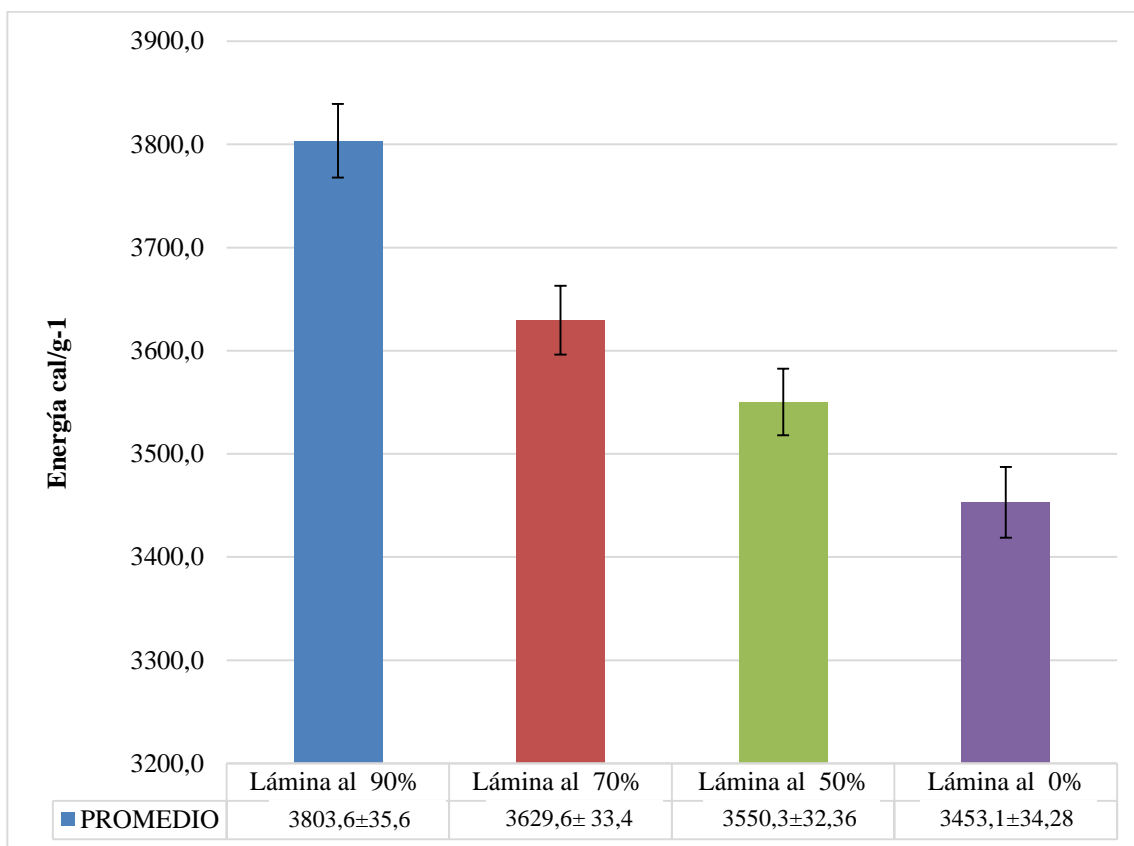


Figura 23. Promedios del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía, 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 24 correspondiente a promedio de energía para el factor fertilización, se presentan los promedios de energía en donde matemáticamente la dosis alta es la que presenta las mejores cantidades de energía con 3642,9 cal.g⁻¹, mientras que la dosis baja presentó cantidades menores con 3557,4 cal.g⁻¹ de energía.

El valor energético de un forraje se determina principalmente por un buen aporte de nutrientes que satisfagan de manera óptima las necesidades nutricionales del cultivo, incrementando o disminuyendo sus valores nutricionales según se satisfaga o no, (Trujillo & Uriarte, 2005), por lo que al igual que en la figura anterior, en la figura 24 se observa como el nivel energético del sorgo incrementa, mediante la aplicación de una dosis de fertilización alta, estos datos útiles solo para la zona de Ibarra donde las condiciones del cultivo no son las óptimas, y se realizó esta investigación.

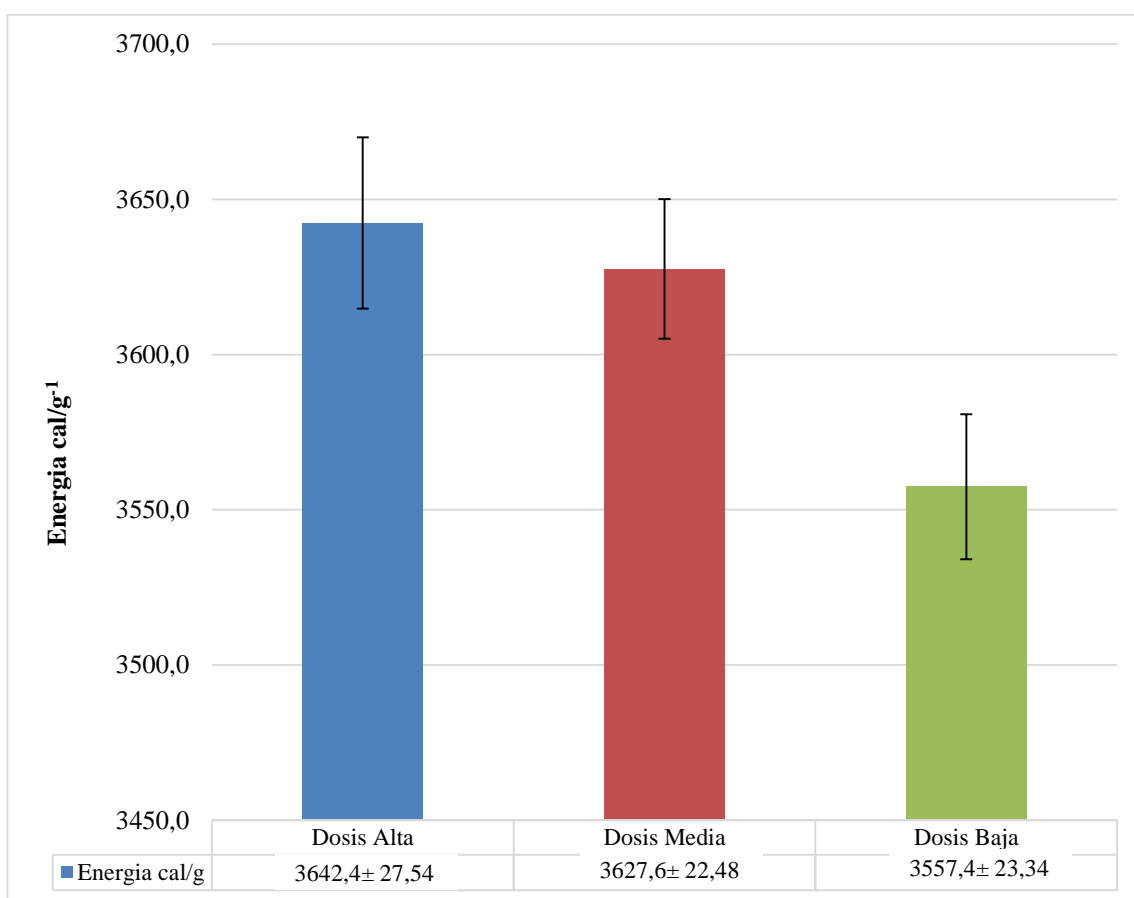


Figura 24. Promedios del cultivo de sorgo, para la variable energía por el factor fertilización, 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 25 correspondiente a promedios de interacción entre riego y fertilización se observa que los niveles energéticos incrementan conforme incrementan la dosis de fertilización y la lámina de riego, como se menciona antes en las tablas 23 y 24, donde el riego y la fertilización influyen de manera directa, demostrando así, que aunque no existan diferencias estadísticas, matemáticamente, la interacción interfiere en la calidad energética del cultivo de sorgo.

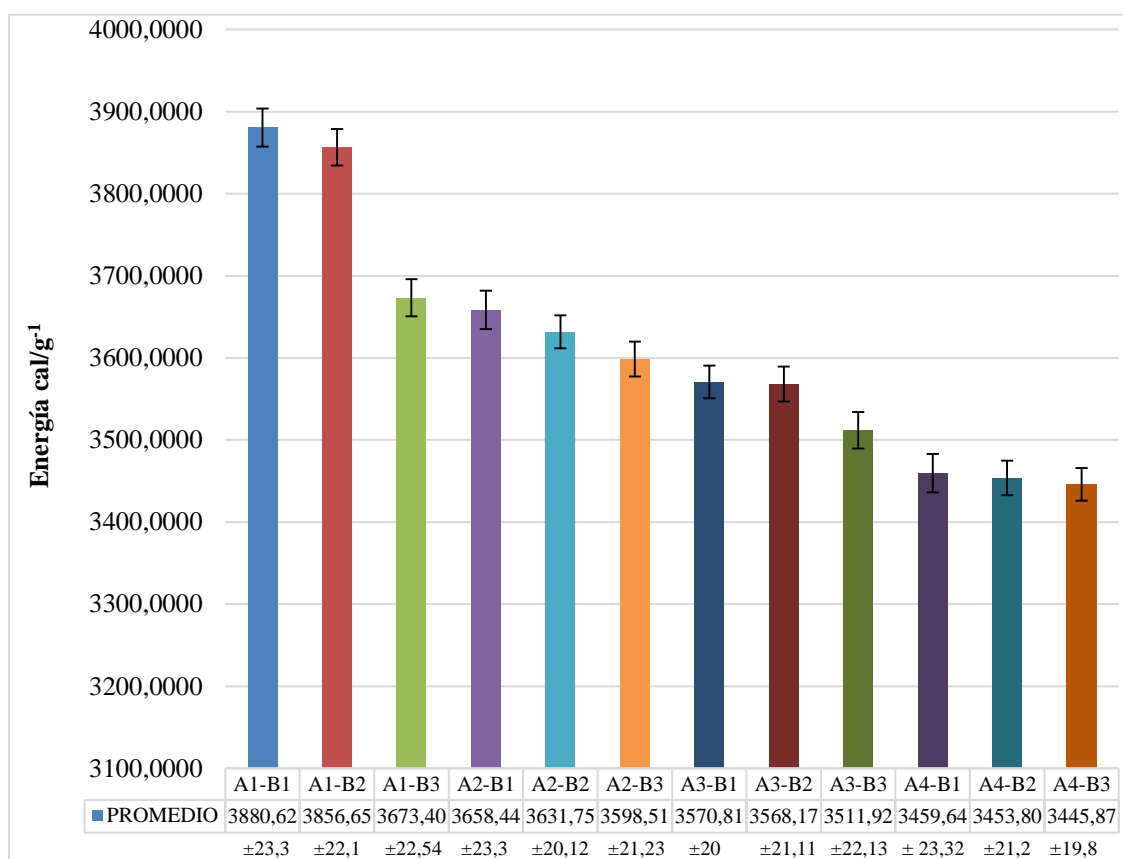


Figura 25: Promedios de interacción entre riego y fertilización del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía 1° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.8.2 Fibra

La tabla 27 correspondiente a análisis de varianza para la variable fibra, muestra que existen diferencias significativas para las observaciones, tanto para el factor A como para el factor B, demostrándose así que tanto el riego como la fertilización influyeron de manera directa en esta variable dando como resultado diferentes promedios, por lo que se aplicará la prueba de Duncan al 5%, el sorgo es un producto de características fibrosas por lo que es importante determinar los factores que dan esa característica a este cultivo.

El porcentaje de variación para la variable fibra es de 1,19% lo que significa que los datos se encuentran cercanos a la media, ya que este análisis fue realizado en laboratorio.

Tabla 25*Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable fibra, 1° corte*

| FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----|----------|-------|-------|-----------|-----------|----|
| Total | 35 | 16123,02 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 50,96 | 4,63 | 23,45 | 2,26 | 3,18 | ** |
| Error exp. | 22 | 4,35 | 0,20 | | | | |
| Factor A (riego) | 3 | 42,25 | 14,08 | 77,59 | 4,76 | 9,78 | ** |
| Repeticiones | 2 | 0,16 | 0,08 | 0,44 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 1,09 | 0,18 | | | | |
| Parcelas gran. | 2 | 43,50 | 21,75 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 3,36 | 1,68 | 24,71 | 3,63 | 6,23 | ** |
| Interacción axb | 6 | 0,84 | 0,14 | 2,05 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | 16 | 1,09 | 0,07 | | | | |
| CV A | | 0,02 | 1,94 | % | | | |
| CV B | | 0,01 | 1,19 | % | | | |
| \bar{x} | | | 16,16 | % | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

Para el factor riego la figura 26 correspondiente a prueba de significancia Duncan al 5%, muestra que existen 4 rangos en los que se dividen los promedios de fibra, el tratamiento con rango más alto **a**, presentó un promedio de 22,4% de fibra para el rango **b** 22,0, **c** 20,6 y finalmente el grupo control o testigo **cd** con un promedio de 19,7% de fibra, siendo el primero el mejor.

Las cantidades de fibra obtenidas son en promedio de 21,26% lo que comparado con estudios realizados por Rodríguez (2005), que obtuvieron promedios de (14,8 y 13,9%) de Fibra, se observa que el sorgo producido en la granja ECAA, es un forraje más fibroso, sin embargo dependerá mucho del momento de corte del sorgo.

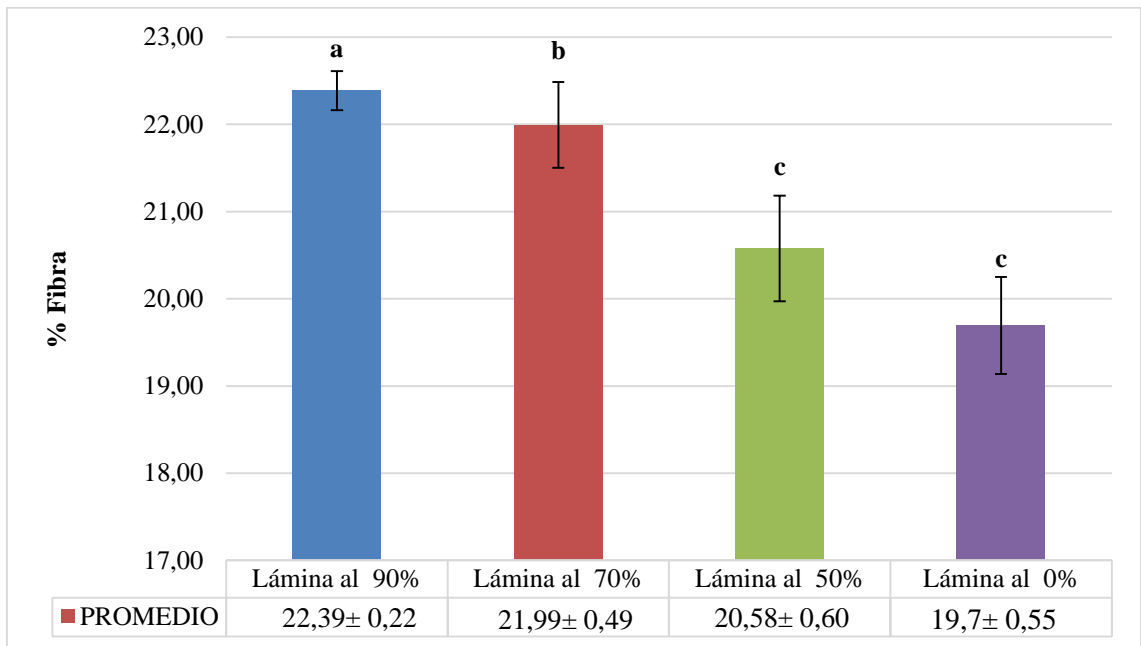


Figura 26. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable fibra del cultivo de sorgo forrajero. 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 27 correspondiente a Duncan al 5% de fibra para el factor fertilización, se observa que existen 3 rangos, siendo el mejor el tratamiento con dosis media de fertilización con un promedio de 21,4 % ubicado en el rango **a**, mientras que la dosis baja se ubica en el rango **b** con un promedio de 20,74% de fibra.

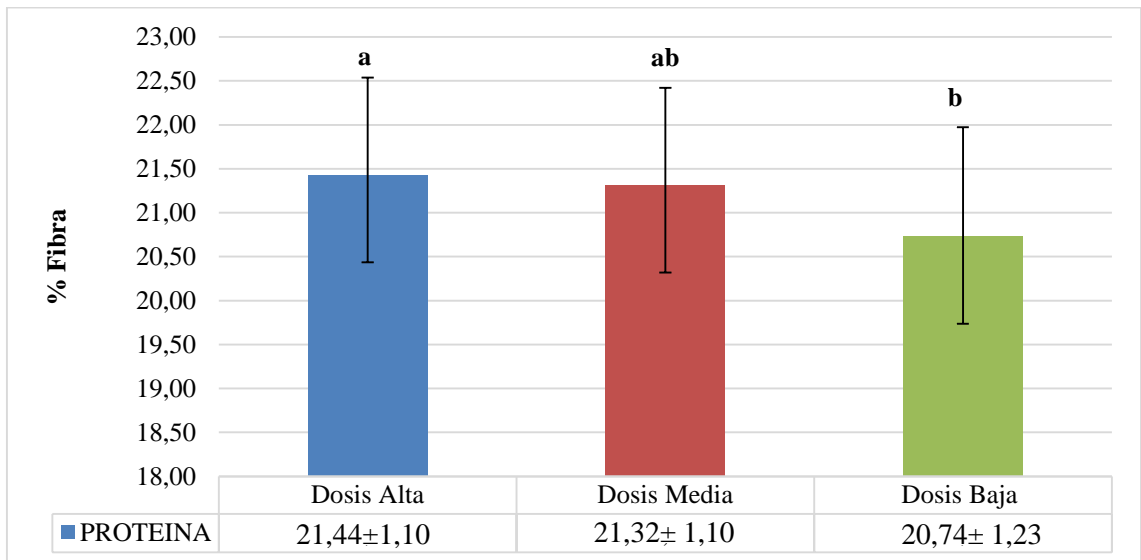


Figura 27. Duncan al 5%, para el factor fertilización en la variable fibra del cultivo de sorgo forrajero.
 1° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

La figura 28 correspondiente a promedio de interacción para la variable fibra muestra que, la interacción de los dos factores interfiere de manera directa con los promedios de fibra

obtenidos en esta investigación, demostrando así que la calidad nutricional depende mucho de diversos factores para obtener promedios altos, entre estos el riego y la fertilización Trujillo & Uriarte (2005), de igual manera, la deficiencia de estos, implica que existirá una reducción en la calidad nutricional de los forrajes, en este caso del cultivo de sorgo forrajero.

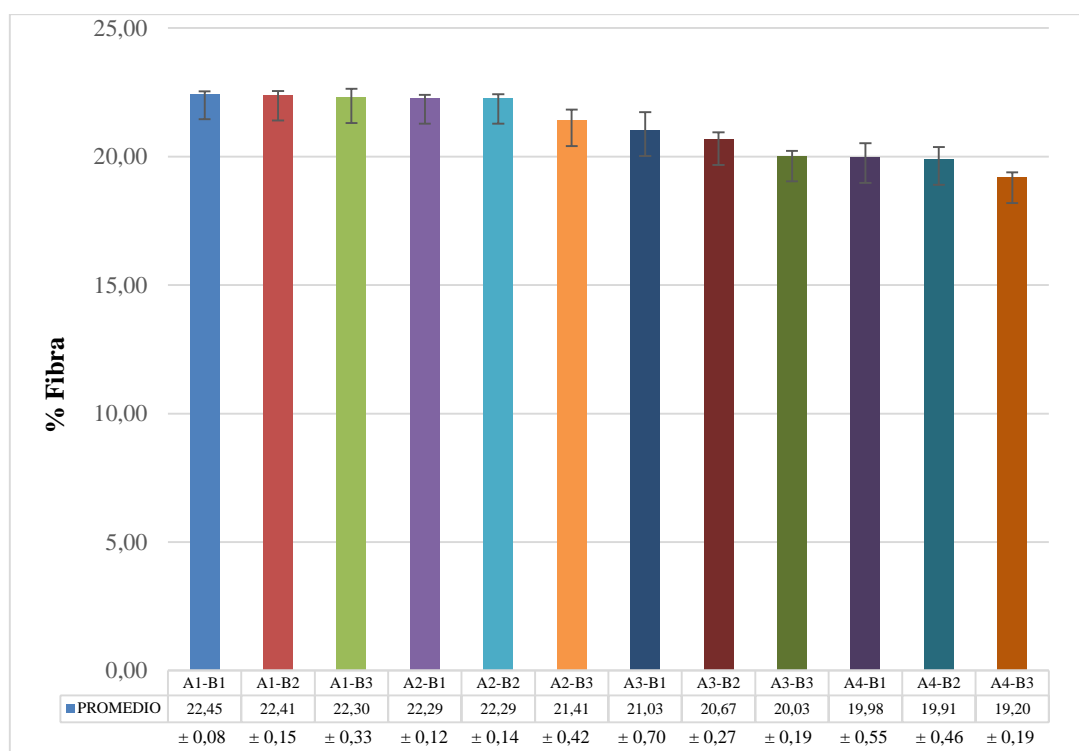


Figura 28. Promedio de Interacción riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable porcentaje de fibra del sorgo forrajero 1° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.8.3 Proteína

La tabla 28 correspondiente a análisis de varianza para proteína, presenta los resultados de la variable, donde se observa que existen diferencias significativas tanto para las observaciones como, para los factores Riego y Fertilización, es decir que se produjeron diferencias entre los promedios de esta variable, aunque no existieran diferencias significativas para la interacción.

El coeficiente de variación fue de 0,87%, la homogeneidad entre datos es muy visible debido a que este análisis se lo realizó dentro de un laboratorio, por lo que la toma de datos, es precisa.

Tabla 26*Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable proteína, 1° corte*

| FV | G L | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|--------|---------|------|-------|-----------|--------|----|
| Total | 35 | 2194,58 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 9,40 | 0,85 | 48,24 | 1,99 | 2,64 | * |
| Error exp. | 22 | 0,39 | 0,02 | | | | |
| Factor A (riego) | 3 | 8,69 | 2,90 | 98,72 | 4,76 | 9,78 | * |
| Repeticiones | 2 | 0,03 | 0,02 | 0,55 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 0,18 | 0,03 | | | | |
| Parcelas gran. | 2 | 8,90 | 4,45 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 0,17 | 0,09 | 7,76 | 3,63 | 6,23 | * |
| Interacción axb | 6 | 0,12 | 0,02 | 1,76 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | 16 | 0,18 | 0,01 | | | | |
| CV A | | 0,01 | 1,41 | % | | | |
| CV B | | 0,01 | 0,87 | % | | | |
| \bar{x} | | | 9,87 | % | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

La figura 29 correspondiente a Duncan al 5% presenta los 4 rangos en los que se encuentra el factor riego, siendo el mejor factor, al que se aplicó la dosis de riego alta con un promedio de 8,6 %, ubicándolo en el rango **a**, mientras que la observación a la que se aplicó la lámina de riego al 0% presentó un promedio de 7,4% de proteína bruta, ubicándolo en el rango **c**.

Los estudios realizados por Rodríguez (2005) presentan promedios de proteína de 12,65, que no coinciden con los datos obtenidos en esta investigación, pues se obtuvo promedios máximos de 8,64%, sin embargo coinciden con, Terra, Scaglia, & García (2000) quienes obtuvieron promedios máximos de 8,24% de Proteína, en México, en condiciones agroclimáticas similares a las de Ibarra.

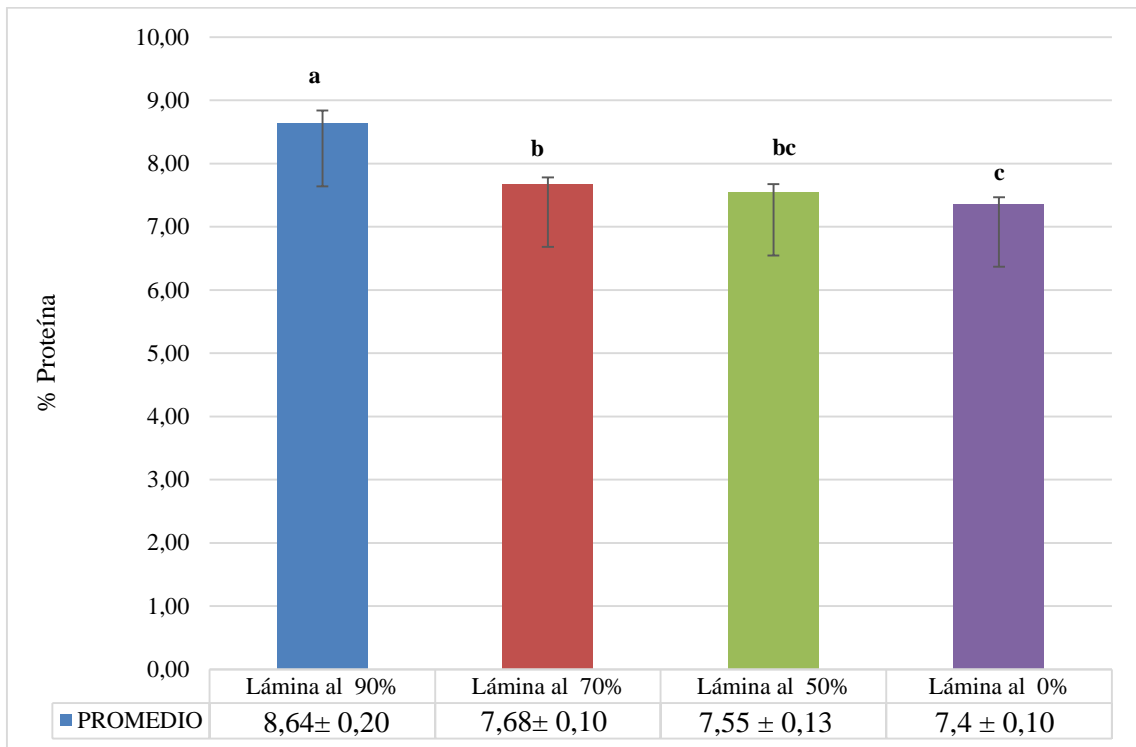


Figura 29. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable proteína del cultivo de sorgo forrajero. 1° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

La prueba de Duncan al 5% muestra en la figura 30 que existen 3 rangos de significancia para el factor fertilización, siendo la dosis más alta la que presenta mejores resultados con un promedio de 7,90 y ubicándola en el rango **a**, mientras que la dosis baja de fertilización se encuentra en el rango **b**.

Al aplicar una dosis elevada de fertilización que sea la correcta para el cultivo de sorgo se puede llegar a obtener promedios de proteína que varían de 8 a 12 %, que comparados con los de la figura 30 se encuentran dentro de ese rango, demostrando así que el sorgo cumplió con sus necesidades nutricionales.

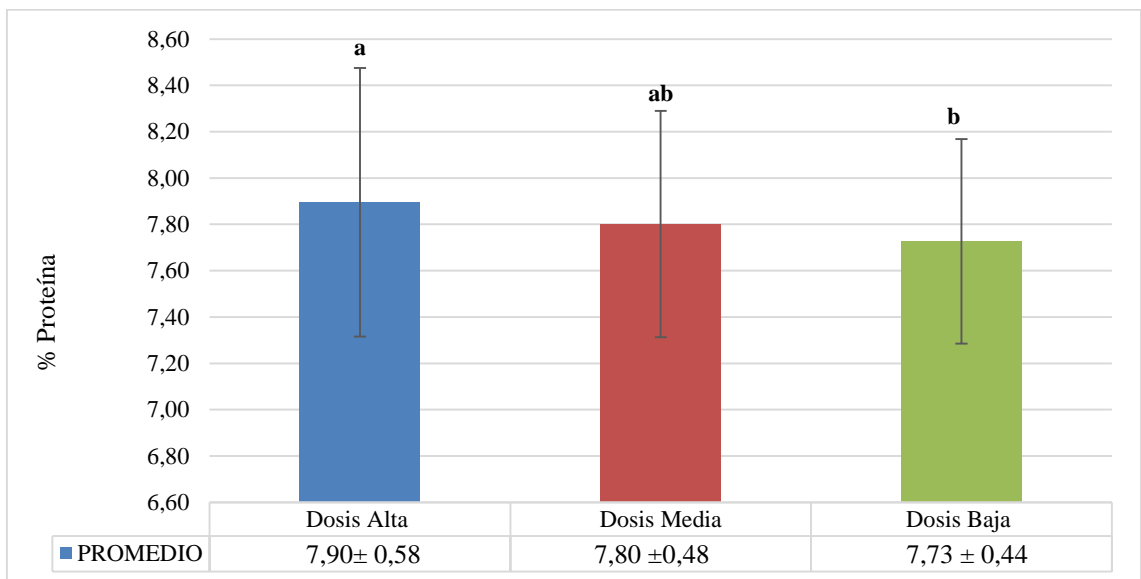


Figura 30. Duncan al 5%, para el factor fertilización en la variable proteína del cultivo de sorgo forrajero. 1° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 31 se observa la interacción entre riego y fertilización, para la variable proteína, en donde las observaciones que tienen las dosis altas de riego y fertilización, presentan los mayores promedios, mientras que las observaciones que presentan las dosis bajas obtuvieron los promedios más bajos, por lo que es evidente que existe una relación entre los factores, que funciona de manera muy equitativa, demostrando que mientras exista una buena nutrición y una buena satisfacción del recurso hídrico los rendimientos se verán afectados o beneficiados.

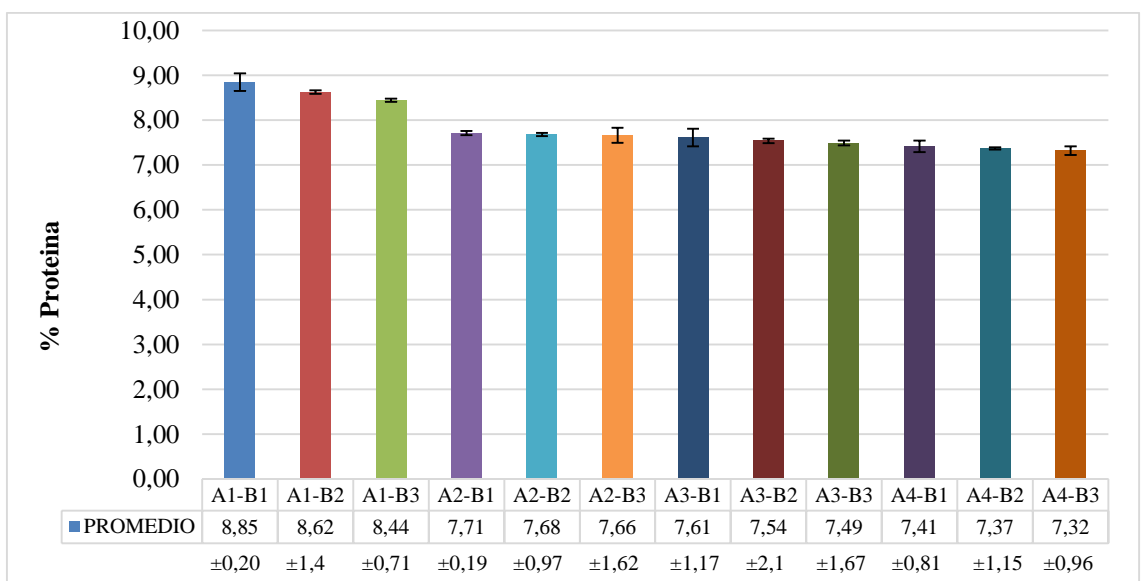


Figura 31. Promedio de Interacción riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable porcentaje de proteína 1° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

SEGUNDO CORTE

4.9 Altura de la planta

30 Días

El Análisis de varianza de la tabla 29 presenta, que existen diferencias significativas para observaciones, los factores A Y B también presentan diferencias altamente significativas es decir que estadísticamente los promedios de altura, para riego y fertilización son diferentes, pues cuando las cantidades de agua junto con otros factores como la calidad del suelo, de la planta y la fertilización son satisfactorios, se puede esperar rendimientos máximos, además de un óptimo desarrollo del cultivo. Mientras que para la interacción entre el factor A y B no existen diferencias significativas.

El coeficiente de variación es de 2,79% lo que indica que no existe mayor variabilidad entre los datos con respecto a la media.

Tabla 27

Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura de la planta 30 días, 2° corte

| FV | G L | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|--------|----------|--------|-------|-----------|--------|----|
| Total | 35 | 287789,9 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 956,87 | 86,99 | 14,64 | 2,26 | 3,18 | * |
| Error exp. | 22 | 130,72 | 5,94 | | | | |
| Factor A (riego) | 3 | 711,52 | 237,17 | 45,51 | 4,76 | 9,78 | * |
| Repeticiones | 2 | 9,68 | 4,84 | 0,93 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 31,27 | 5,21 | | | | |
| Parcelas gran. | 2 | 752,47 | 376,24 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 68,25 | 34,12 | 5,49 | 3,63 | 6,23 | * |
| Interacción axb | 6 | 36,71 | 6,12 | 0,98 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | 16 | 99,44 | 6,22 | | | | |
| CV A | | 0,03 | 2,55 | % | | | |
| CV B | | 0,03 | 2,79 | % | | | |
| \bar{x} | | | 89,41 | cm | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

La figura 32 correspondiente a prueba de Duncan al 5%, demuestra que existen 4 rangos diferentes para el factor riego, siendo el mayor el factor con la lámina de riego al 90% con un promedio de 95,9cm de altura a los 30 días, ubicándolo en el rango de significancia **a**, mientras que la lámina de riego al 0 % presentó promedios de 84,2cm de altura a los 30 días, en el rango más bajo o **c**.

De acuerdo a Gonzales J. S. (2016), en su investigación determinó que la lámina de riego es de mucha importancia, pues mientras más elevada, la altura de la planta de sorgo la lámina a su vez incrementa, mientras que si se disminuye, la altura de la planta será menor, por lo tanto los resultados obtenidos en esta figura concuerdan con lo antes mencionado, demostrando que las cantidades de agua si influyen en el crecimiento de la planta de sorgo.

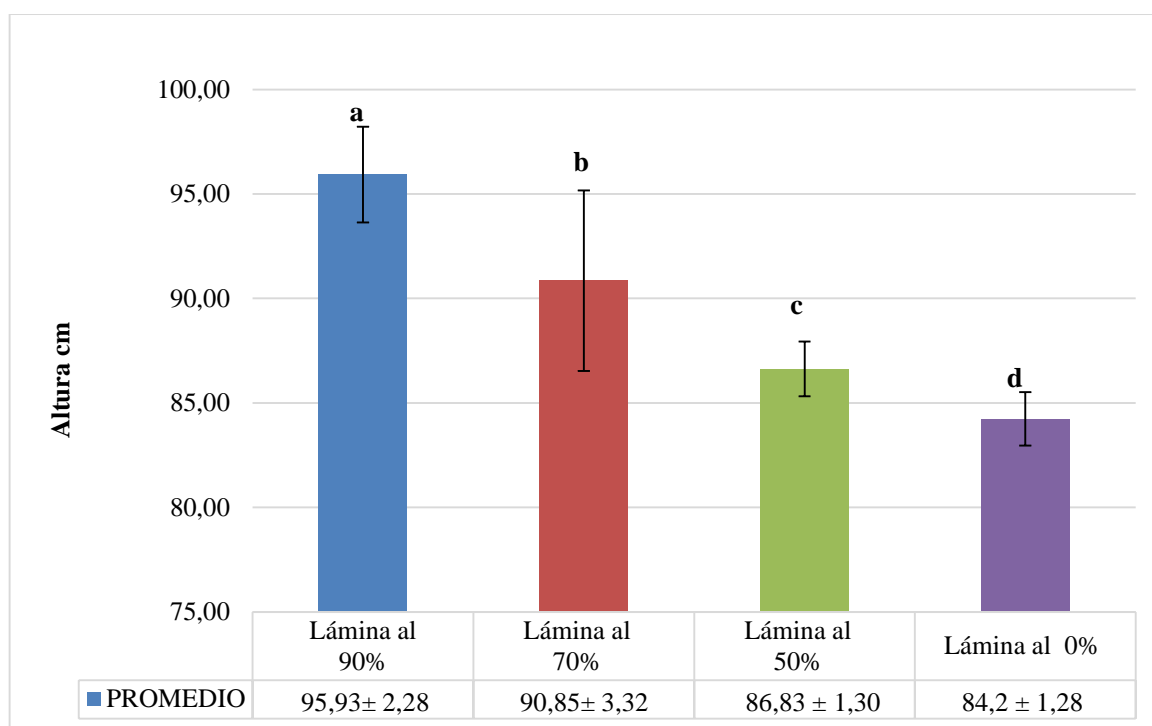


Figura 32. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable altura del cultivo de sorgo forrajero. 2º corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 33 correspondiente a Duncan al 5% se encuentran 3 rangos de promedios para el factor fertilización, en el que se observa, que la dosis alta de fertilización obtuvo el mejor promedio de altura en la planta con 91,27 cm, en el rango **a**, mientras que las dosis

media y baja obtuvieron promedios de 88,98 y 87,98 cm, que las ubican en los rangos **ab** y **b**.

La fertilización juega un papel importante en el crecimiento de la planta, por lo que Amador & Boschini (2000) una aplicación completa de fertilizante no solo incrementará su desarrollo, si no favorecerá aún más a la planta, por tanto es evidente que presenta diferencias significativas pues mientras, se satisfizo las necesidades nutricionales del cultivo, su crecimiento se incrementó.

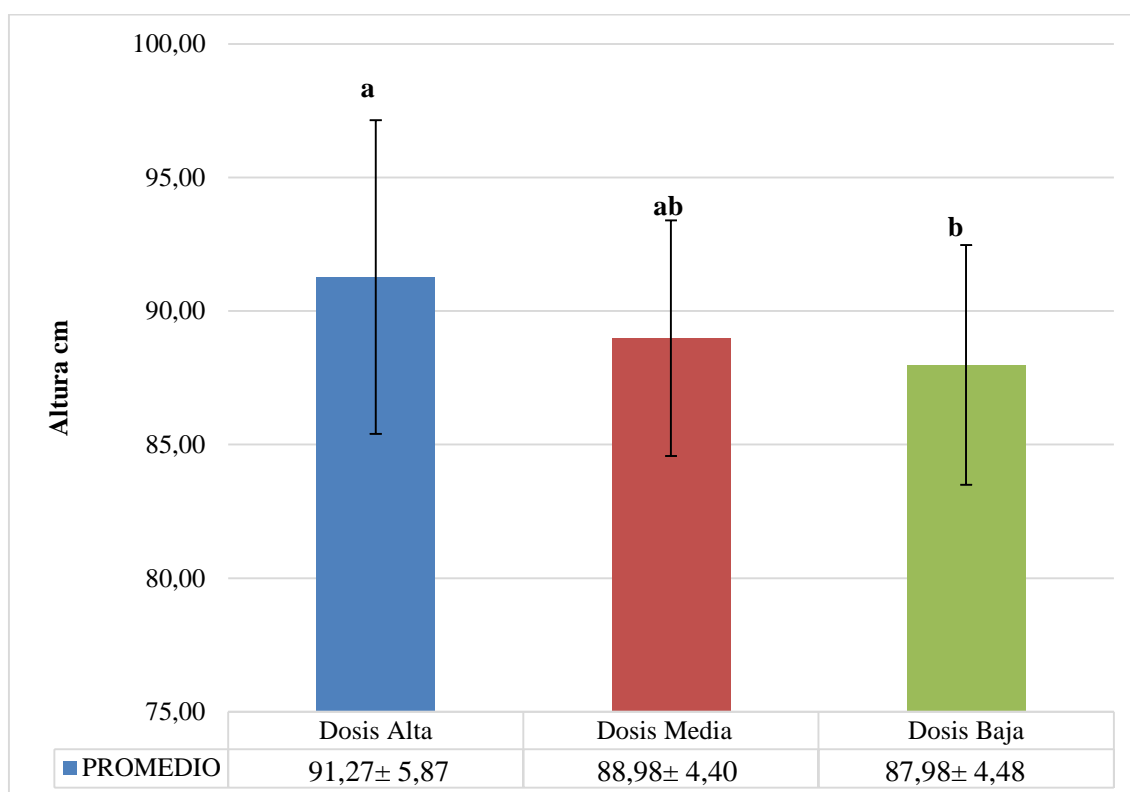


Figura 33. Duncan al 5%, para el factor fertilización en la variable altura del cultivo de sorgo forrajero. 2° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

Al igual que en el primer corte en la 3° etapa de desarrollo de la planta la aplicación de riego constante, incrementará el crecimiento del mismo, como se observa en la figura 34, promedio de interacción, mientras que a pesar de tener una absorción rápida de nutrientes no representará mayor cambio en el desarrollo de la planta, por lo que la interacción de los dos interfiere de manera directa en el crecimiento del sorgo.

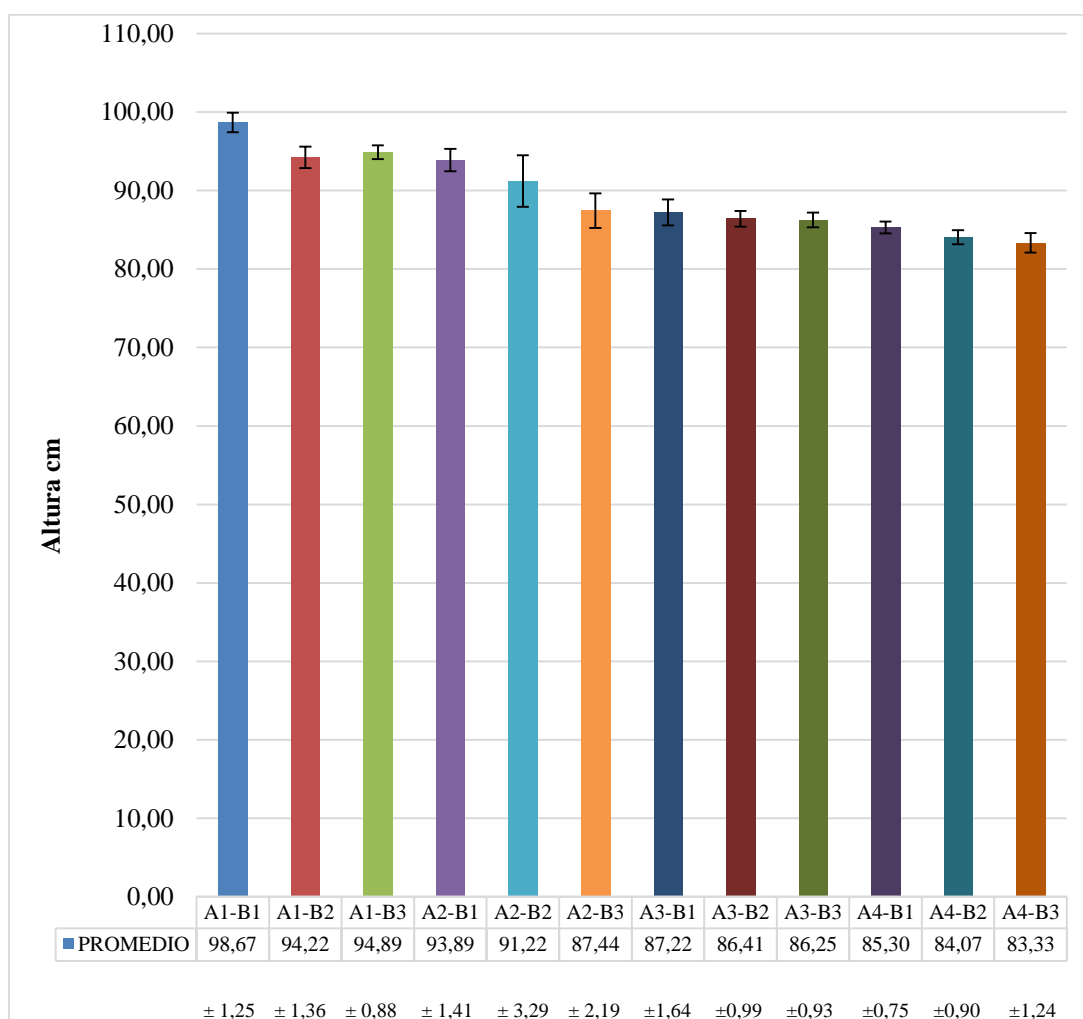


Figura 34. Promedios de interacción riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura 2° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

60 Días

El análisis de varianza de la tabla 30 muestra que existen diferencias significativas para observaciones, y para el factor A, lo que demuestra que existió variabilidad en las láminas de riego; mientras que para el factor B no existen diferencias significativas.

El coeficiente de variación es de 3,26% lo que indica que la variabilidad de datos se encuentra en un rango normal con respecto a la media, para una investigación en campo.

Tabla 28

Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura de la planta 60 días, 2° corte

| FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----|-----------|---------|-------|-----------|-----------|----|
| Total | 35 | 1318968,0 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 4412,90 | 401,17 | 8,66 | 2,26 | 3,18 | * |
| Error exp. | 22 | 1019,20 | 46,33 | | | | |
| Factor A (riego) | 3 | 3220,61 | 1073,54 | 16,29 | 4,76 | 9,78 | * |
| Repeticiones | 2 | 32,43 | 16,21 | 0,25 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 395,48 | 65,91 | | | | |
| Parcelas gran. | 2 | 3648,52 | 1824,26 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 67,71 | 33,85 | 0,87 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interacción axb | 6 | 72,96 | 12,16 | 0,31 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | 16 | 623,71 | 38,98 | | | | |
| CV A | | 0,04 | 4,24 | % | | | |
| CV B | | 0,03 | 3,26 | % | | | |
| \bar{x} | | | 191,41 | cm | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

La figura 35 correspondiente a prueba de Duncan al 5% para el factor riego demostró que este factor presenta cuatro rangos, siendo el mejor el de la lámina de riego al 90% con un promedio de 207,11cm en el rango **a**, seguida de la lámina al 70 % con un promedio de 190,19cm, la lámina al 0% presento el promedio más bajo con 182,6cm de altura y ubicándose en el rango **c**.

Al igual que en la altura a los 30 días, a los 60 días el factor riego es uno de los más importantes pues a partir de la 5° etapa o 60 días el requerimiento de agua es fundamental, Zeledón *et al.* (2007) pues este determinará si el sorgo continúa con su crecimiento como hasta ahora o disminuye, como aquí se observa el factor que detuvo el crecimiento fue el que no tuvo lámina de riego, disminuyendo su altura, frente a las demás observaciones.

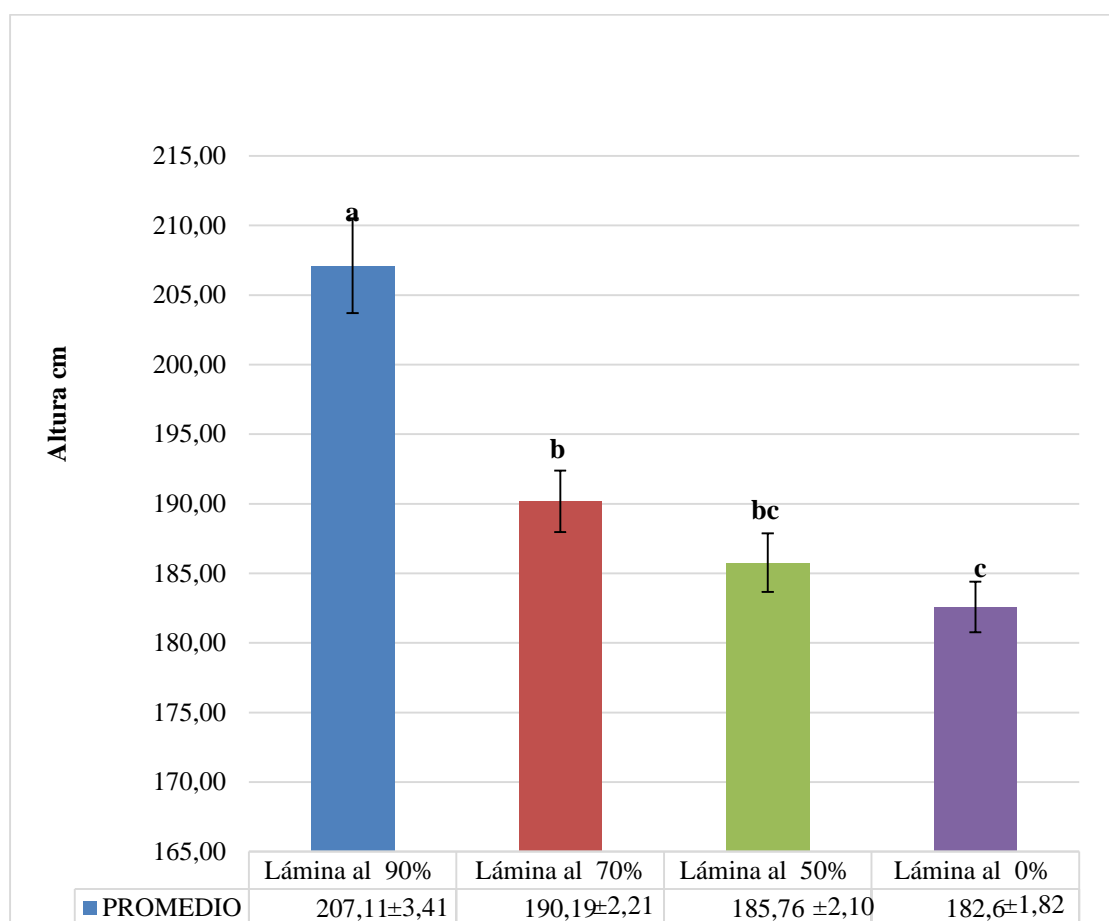


Figura 35. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable altura del cultivo de sorgo forrajero. 2° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 36 correspondiente a promedios de altura para el factor fertilización se observa que no existieron diferencias significativas, por lo que no se aplica la prueba de Duncan, sin embargo se observa los promedios de altura de este factor siendo la dosis alta y la media las mejores con un promedio similar de 192,4 cm, mientras que la dosis baja presentó el promedio más bajo con 189,5 cm.

Al no existir significancia para el factor fertilización, indica que las dosis no influenciaron de manera directa en la altura a los 60 días, contrario a lo expuesto por Zeledón *et al.* (2007) quién afirma que mientras más fertilización exista los promedios de altura se incrementarán de manera significativa.

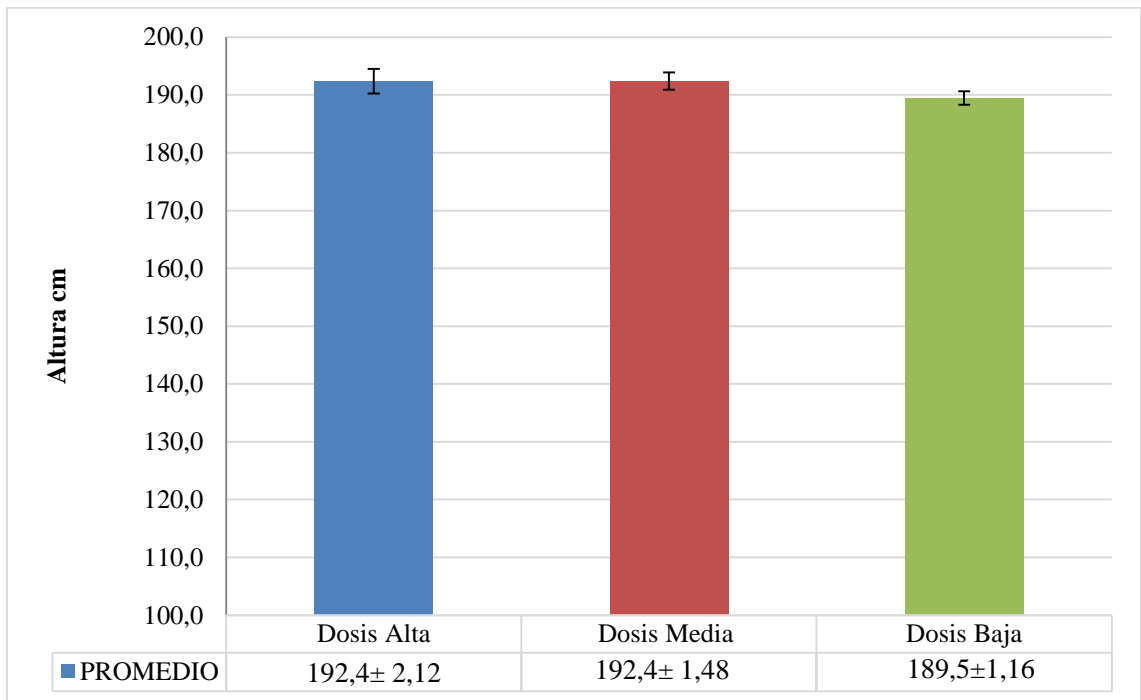


Figura 36. Promedios de altura de la planta, del cultivo de sorgo forrajero por el factor fertilización, 2° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 37 correspondiente a promedio de interacción de riego y fertilización, a los 60 días se observa que al igual que en el primer corte existe una disminución en el promedio de altura mediante la aplicación de riego y fertilización disminuye, afectando o interactuando directamente con el crecimiento de la planta.

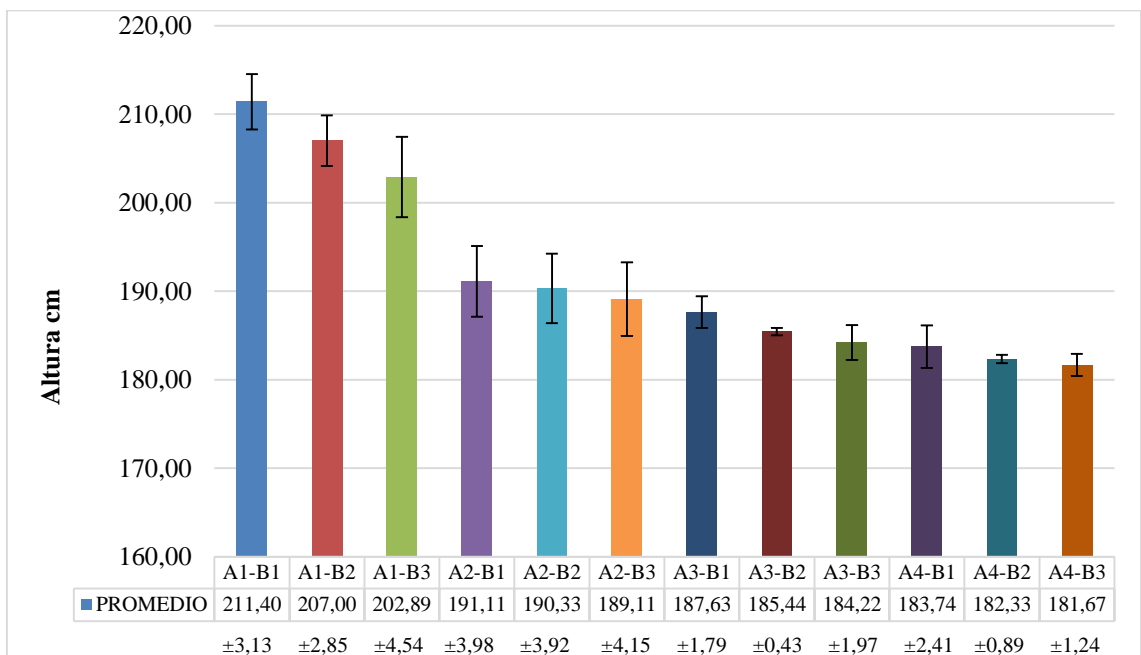


Figura 37. Promedios de interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable altura de la planta 2° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.10 Peso de materia verde (fresco)

El Análisis de varianza de la tabla 31 muestra que existe diferencias significativas tanto para las observaciones, como para el factor A y el factor B en cuanto a la variable peso, una de las principales formas de mantener una buena nutrición y una buena aplicación de riego, se ve reflejada en los rendimientos, o pesos pues si estos satisfacen las necesidades de un cultivo, los rendimientos mejoran, lo contrario ocurre si no se satisfacen, por lo que se aplicará una prueba de Duncan, lo que determinará cuál fue la dosis de riego y fertilización la que permitió al cultivo su buen desarrollo.

El coeficiente de variación fue de 2,59%, que indica que no existe mayor variabilidad con respecto a la media.

Tabla 29

Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia verde, 2° corte

| | FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----|----------|---------|--------|--------------------|--------|--------|----|
| Total | | 35 | 52824,3 | | | | | |
| Observaciones | | 11 | 388,87 | 35,35 | 28,29 | 2,26 | 3,18 | * |
| Error exp. | | 22 | 27,50 | 1,25 | | | | |
| Factor A (riego) | | 3 | 336,87 | 112,29 | 57,64 | 4,76 | 9,78 | * |
| Repeticiones | | 2 | 4,44 | 2,22 | 1,14 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | | 6 | 11,69 | 1,95 | | | | |
| Parcelas gran. | | <u>2</u> | 353,01 | 176,50 | | | | |
| Factor B (fert) | | 2 | 14,09 | 7,04 | 7,13 | 3,63 | 6,23 | * |
| Interacción axb | | 6 | 5,97 | 0,99 | 1,01 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | | 16 | 15,81 | 0,99 | | | | |
| CV A | | | 0,04 | 3,64 | % | | | |
| CV B | | | 0,03 | 2,59 | % | | | |
| \bar{x} | | | | 38,31 | t.ha ⁻¹ | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 38 correspondiente a prueba de Duncan al 5%, se pueden identificar 4 rangos que se determinaron para el factor riego, al aplicársele diferentes láminas, ubicándola en el rango **a**, la lámina de riego al 90% con un promedio de 43,3 t.ha⁻¹, a pesar de existir un déficit

de la reposición de agua de la lámina de riego al 0% se ubica en el rango **cd**, con un promedio de 35,3 t.ha⁻¹.

Según lo expresan investigaciones realizadas por Vargas (2005) el rendimiento de materia verde incrementa en el segundo corte, obteniendo promedios de hasta 33.000 kg.ha⁻¹ (33 t. ha⁻¹) promedio, ya que el riego es uno de los factores que más influye, por lo que al comparar con los resultados obtenidos en esta investigación, donde los promedios van desde los 35,3 hasta los 43,29 t. ha⁻¹, que no solo son más altos, sino que se desarrollaron en condiciones desfavorables, en donde ni la temperatura ni el clima son los óptimos para el sorgo, demostrando así su gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones.

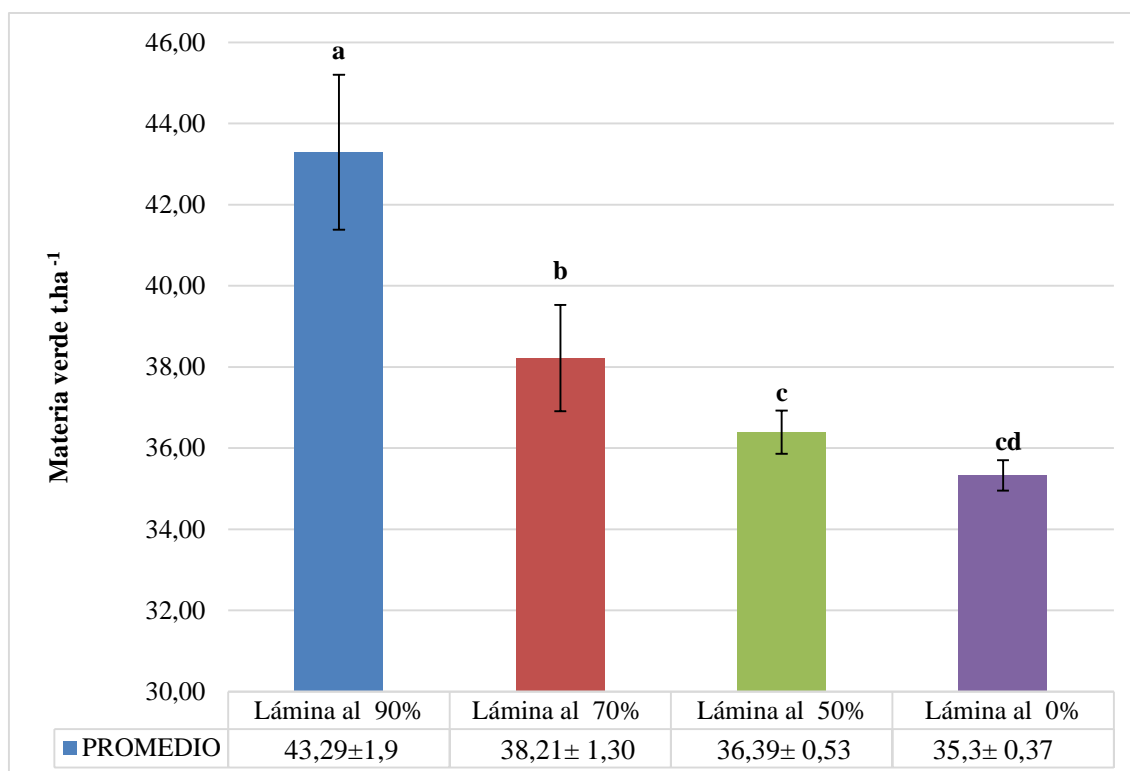


Figura 38. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable materia verde del cultivo de sorgo forrajero. 2º corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 39 correspondiente a Prueba de Duncan al 5%, se puede observar 3 rangos para el factor fertilización siendo el mejor la dosis de fertilización alta con un promedio de 39,06 t.ha⁻¹ en el rango **a**, seguido de la dosis media y baja con promedios de 38,33 y 37,53 respectivamente en los rangos, **b** y **c**

La fertilización en la producción de materia verde, fue fundamental, pues la extracción de nutrientes que este representa, puede provocar que el suelo no aporte las cantidades necesarias de nutrientes, por lo que se aplicó fertilización nuevamente en el segundo corte, y esto ayudó en el incremento de productividad.

Según Gracia & Gordón (2006) el aporte de nutrientes al cultivo de sorgo determinan su buen desarrollo, y si se satisfacen todas las necesidades del mismo se pueden llegar a tener rendimientos de 40 a 60 t.ha⁻¹, lo que no esta tan de acuerdo con los promedios obtenidos pues van desde las 38 hasta las 39 t. ha⁻¹, que aunque no llegue a los estándares antes mencionados, llega a ser mínima la diferencia con una tonelada.

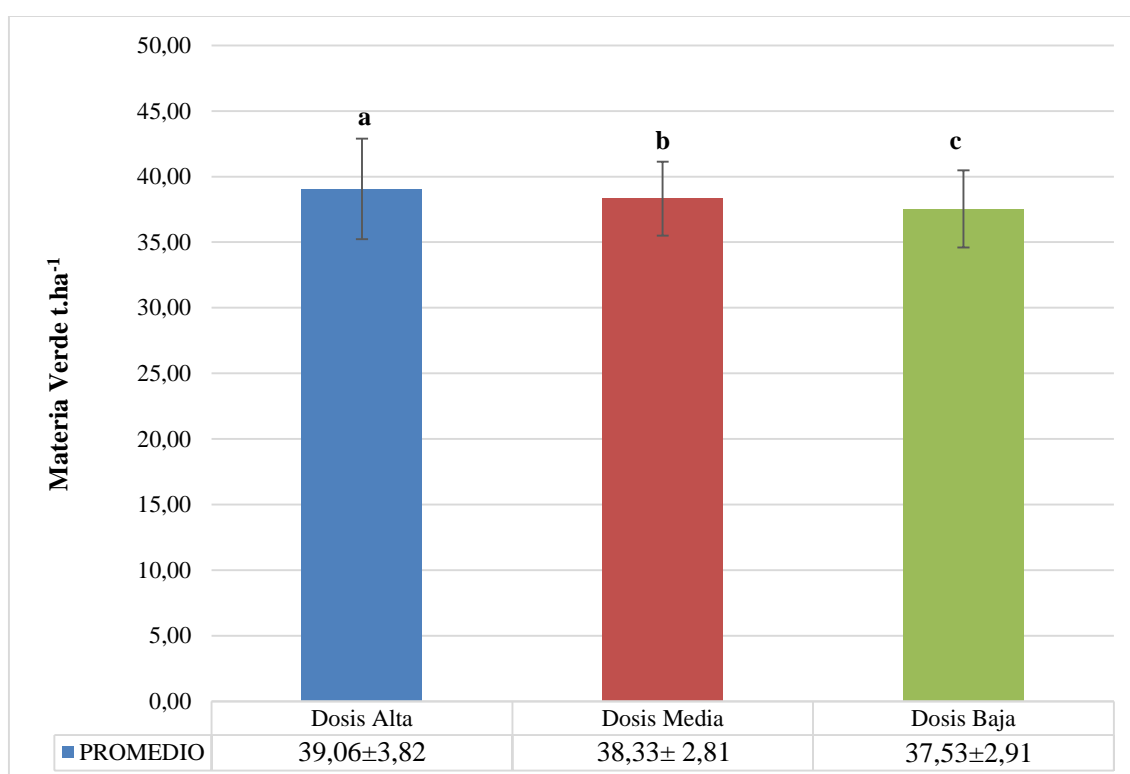


Figura 39. Duncan al 5% del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia verde fresca por el factor fertilización 2° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 40 correspondiente a interacción de riego y fertilización se observa las diferencias existentes entre la aplicación conjunta de dosis alta vs. la aplicación de dosis bajas de riego y fertilización, obteniendo como resultados promedios que se incrementan según la dosis junta.

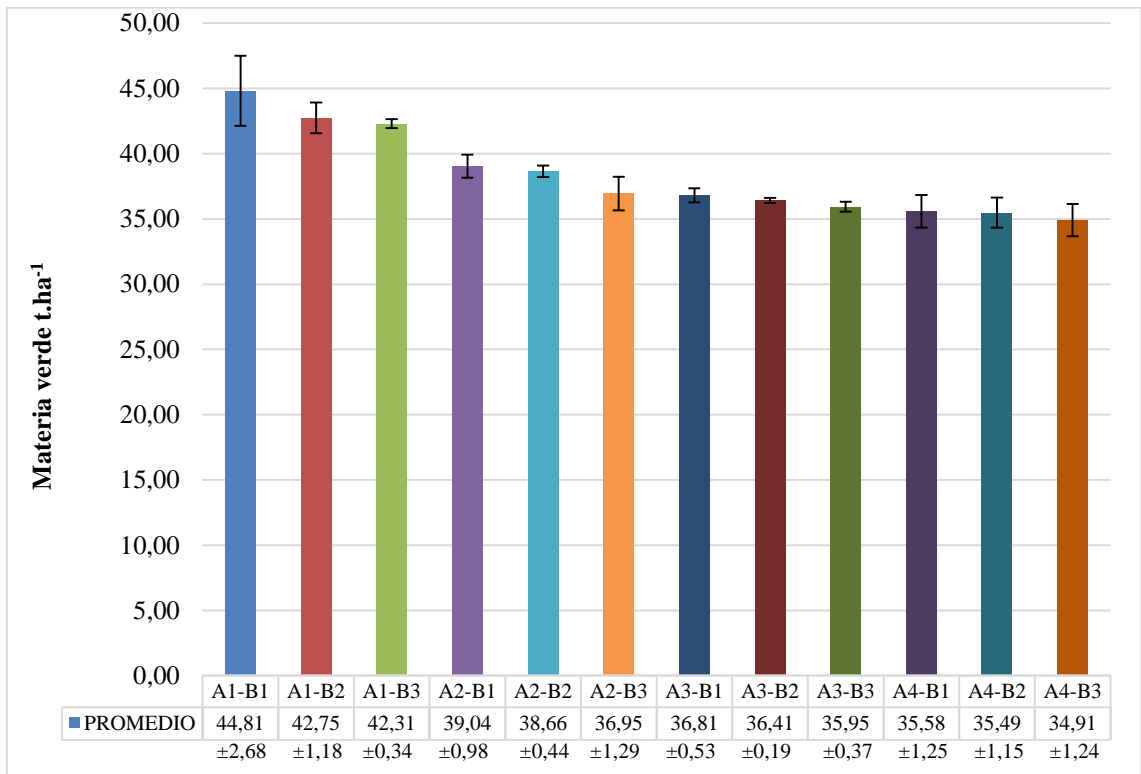


Figura 40. Promedios de interacción riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable rendimiento de materia verde 2° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.11 Materia seca

En la tabla 32 correspondiente a Análisis de varianza se observa que existen diferencias para observaciones, también para el factor A, es decir que existió variabilidad en los promedios de materia seca, mientras que para el factor B no existen evidencias significativas, que demuestren que los promedios fueron diferentes, tampoco para la interacción.

Al factor A se le aplicará la prueba de Duncan para observar que dosis de riego fue el que mejores resultados arrojó.

En cuanto al coeficiente de variación este presenta un 8,66% de variabilidad de datos con respecto a la media.

Tabla 30*Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia seca, 2° corte*

| FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----|-------|-------|--------------------|-----------|-----------|----|
| Total | 36 | 29,87 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 29,87 | 2,72 | 4,13 | 2,26 | 3,18 | ** |
| Error exp. | 22 | 14,47 | 0,66 | | | | |
| Factor A (riego) | 3 | 11,75 | 3,92 | 17,4 | 4,76 | 99,17 | ** |
| Repeticiones | 2 | 2,76 | 1,38 | 6,14 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 1,35 | 0,22 | | | | |
| Parcelas gran. | 2 | 15,86 | 7,93 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 0,62 | 0,31 | 0,38 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interacción axb | 6 | 0,27 | 0,05 | 0,06 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | 16 | 13,12 | 0,82 | | | | |
| CV A | | 0,05 | 4,53 | % | | | |
| CV B | | 0,09 | 8,66 | % | | | |
| \bar{x} | | | 10.46 | t.ha ⁻¹ | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 41 prueba de Duncan para el factor riego se obtuvo 4 rangos, el promedio más alto es al que se le aplicó una lámina de riego al 90% pues obtuvo un promedio de 1,3 t.ha⁻¹ en el rango **a**, mientras que los tratamientos a los que se les aplicó láminas inferiores desde 70, 50 y 0% obtuvieron promedios de 10,5, 10,3, 9,7 t.ha⁻¹, ubicándolos en los rangos **b**, **bc**, y **c**, demostrando nuevamente que el sorgo no se ve estrictamente afectado al no existir una reposición de agua como es el caso del testigo o lámina 0%.

Los promedios obtenidos en esta investigación concuerdan con lo expuesto por, Berumena, Serna, Ocampo, Martínez, & Ortiz (2007) el sorgo no disminuye su producción de materia seca sin importar las deficiencias de esta que existan, obteniendo promedios de 6,14 hasta 14,2 t. ha⁻¹, en condiciones parecidas a las de esta investigación, al igual que los resultados obtenidos de M.S que van desde 9,7 hasta 11,31 t.ha⁻¹ en esta investigación.

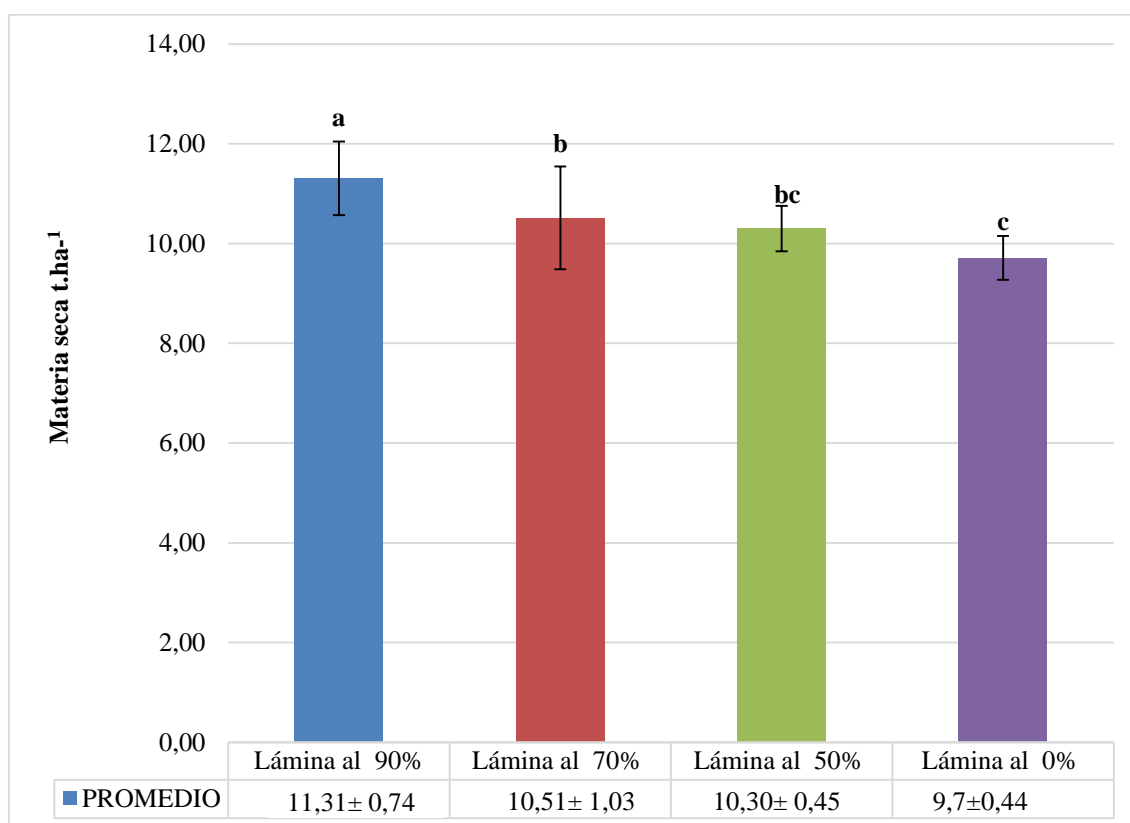


Figura 41. Duncan al 5%, para el factor riego en la variable materia seca del cultivo de sorgo forrajero. 2º corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 42 correspondiente a promedios de materia seca para el factor fertilización se observa que este no jugó un papel determinante, según datos estadísticos, sin embargo se realizó un análisis matemático con promedios de 10,6, 10,5 y 10,3 t.ha⁻¹ para la dosis alta, media y baja respectivamente.

Según Amador & Boschini (2000) la producción de materia seca con una buena fertilización debería rondar los 10,4 t.ha⁻¹, y tomando en cuenta que las condiciones en las que se realizó esta investigación son similares a las antes mencionadas y no son precisamente las más favorables u óptimas para el cultivo, los resultados obtenidos son satisfactorios, con un promedio de 10,5 t.ha⁻¹, que son iguales a los de Amador y Boschini.

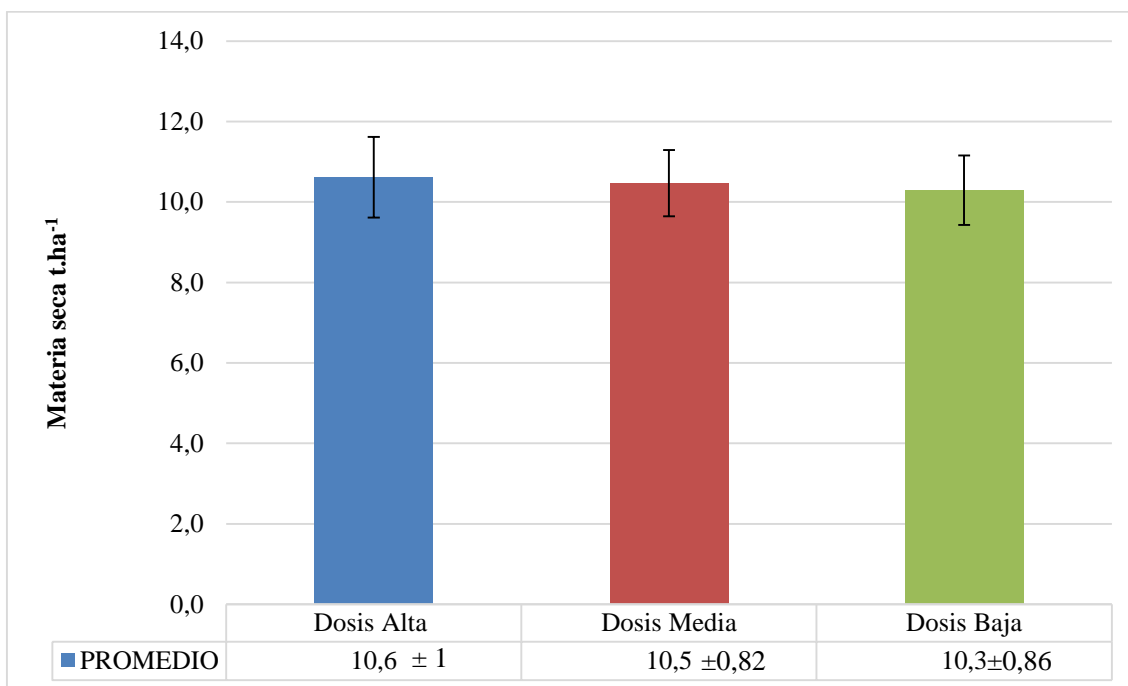


Figura 42. Promedios de materia seca, del cultivo de sorgo forrajero para el factor fertilización, 2° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 43, se observa los promedios de materia seca, que se obtuvieron a partir de la interacción entre riego y fertilización, en donde es visible que estos, incrementan, de acuerdo al incrementó de las dosis.

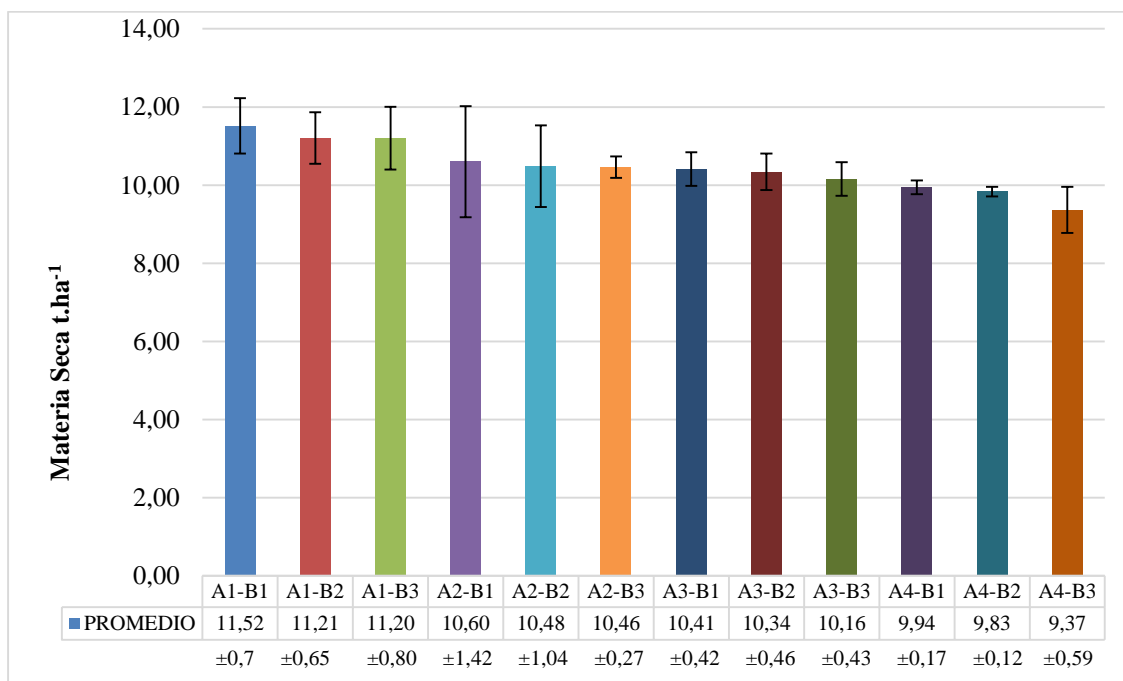


Figura 43. Promedios de interacción entre riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable materia seca, 2° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.12 Análisis Bromatológico

4.12.1 Energía

En la tabla 33 correspondiente a Análisis de varianza, se puede observar que no existen diferencias significativas para las observaciones, tampoco entre las dosis del factor A riego, y B fertilización, lo que quiere decir que no existieron diferencias estadísticas entre promedios.

El coeficiente de variación de la variable energía es de 11,46%, que se encuentra dentro de los rangos permitido para un análisis en laboratorio.

Tabla 31

Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía, 2° corte

| FV | G L | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|--------|------------|-----------|---------------------|-----------|--------|----|
| Total | 35 | 5365827,01 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 5365827,01 | 487802,46 | 2,92 | 2,26 | 3,18 | ns |
| Error exp. | 22 | 3674431,00 | 167019,59 | | | | |
| Factor A(riego) | 3 | 636207,73 | 212069,24 | 2,53 | 4,76 | 9,78 | ns |
| Repeticiones | 2 | 347442,46 | 173721,23 | 2,07 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 502501,54 | 83750,26 | | | | |
| Parcelas gran. | 2 | 1486151,74 | 743075,87 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 99952,38 | 49976,19 | 0,25 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interacción axb | 6 | 607793,44 | 101298,91 | 0,51 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | 16 | 3171929,46 | 198245,59 | | | | |
| CV A | | 0,07 | 7,45 | % | | | |
| CV B | | 0,11 | 11,46 | % | | | |
| \bar{x} | | | 3921,49 | cal.g ⁻¹ | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 44 correspondiente a promedio de riego para energía, se puede observar que la lámina al 50% arroja promedios de 4133,5 cal.g⁻¹ de energía, mientras que la lámina al 0% presenta 3814,7 cal.g⁻¹, al no existir diferencias significativas, se demuestra que el riego no influyó de manera directa, en los niveles de energía.

El valor energético al igual que en el primer corte, está determinado por diferentes factores, entre estos las cantidades de agua que reciba el cultivo, por lo que al tener láminas de riego que satisfagan los requerimientos de agua, los promedios de energía, incrementarán, (Terra, Scaglia, & García, 2000), como se observa en la figura 44 de niveles energéticos.

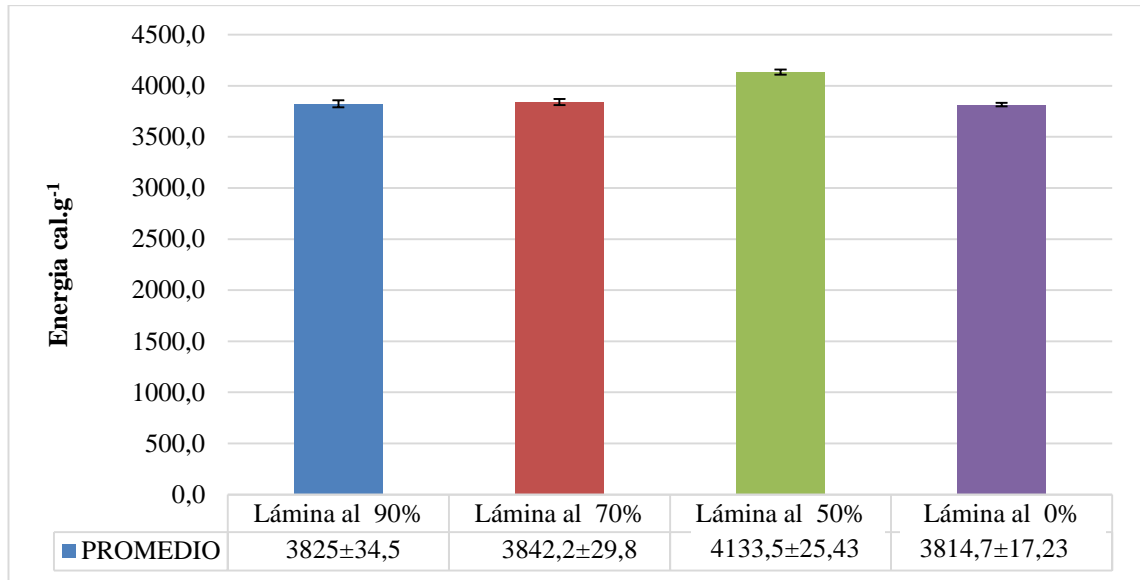


Figura 44. Promedios del cultivo de sorgo para la variable energía, factor riego 2° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 45 se observa los promedios para fertilización de energía, en donde se realizó un análisis matemático para determinar los diferentes promedios, estableciéndose como la mejor la dosis de fertilización alta, demostrando que una mejor fertilización, provocará un aumento energético del cultivo.

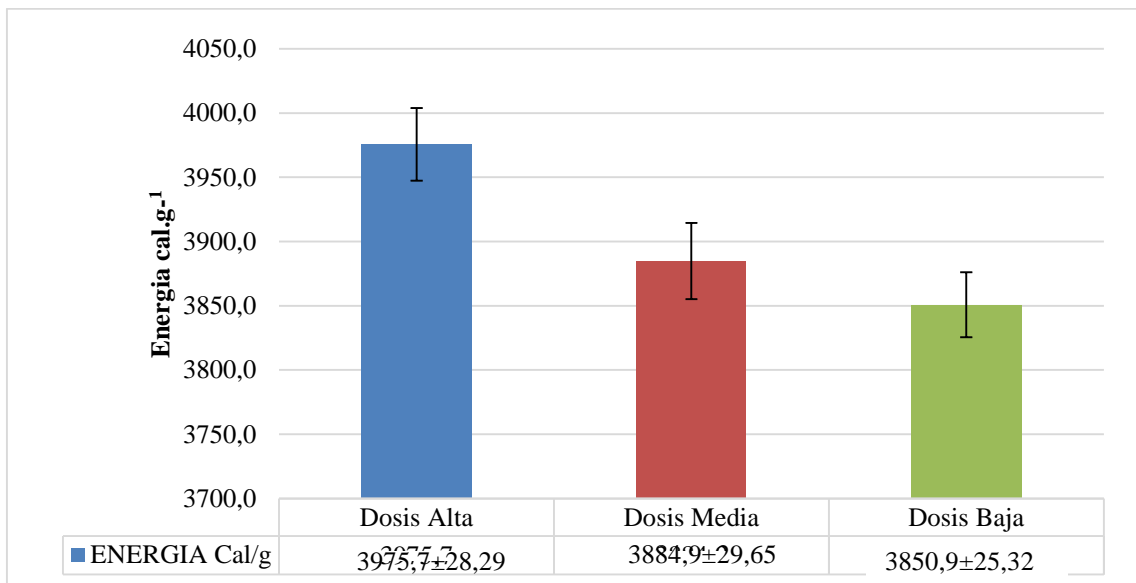


Figura 45. Promedios del cultivo de sorgo para la variable energía, factor fertilización 2° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 46 correspondiente a promedio de interacción riego y fertilización, para la variable energía se observa que existe, una relación directa entre estos, a pesar de no existir diferencias estadísticas, que prueben esto, sin embargo en la figura se hace evidente lo antes mencionado, incrementando el porcentaje mediante aumenta la dosificación y lo contrario si disminuye.

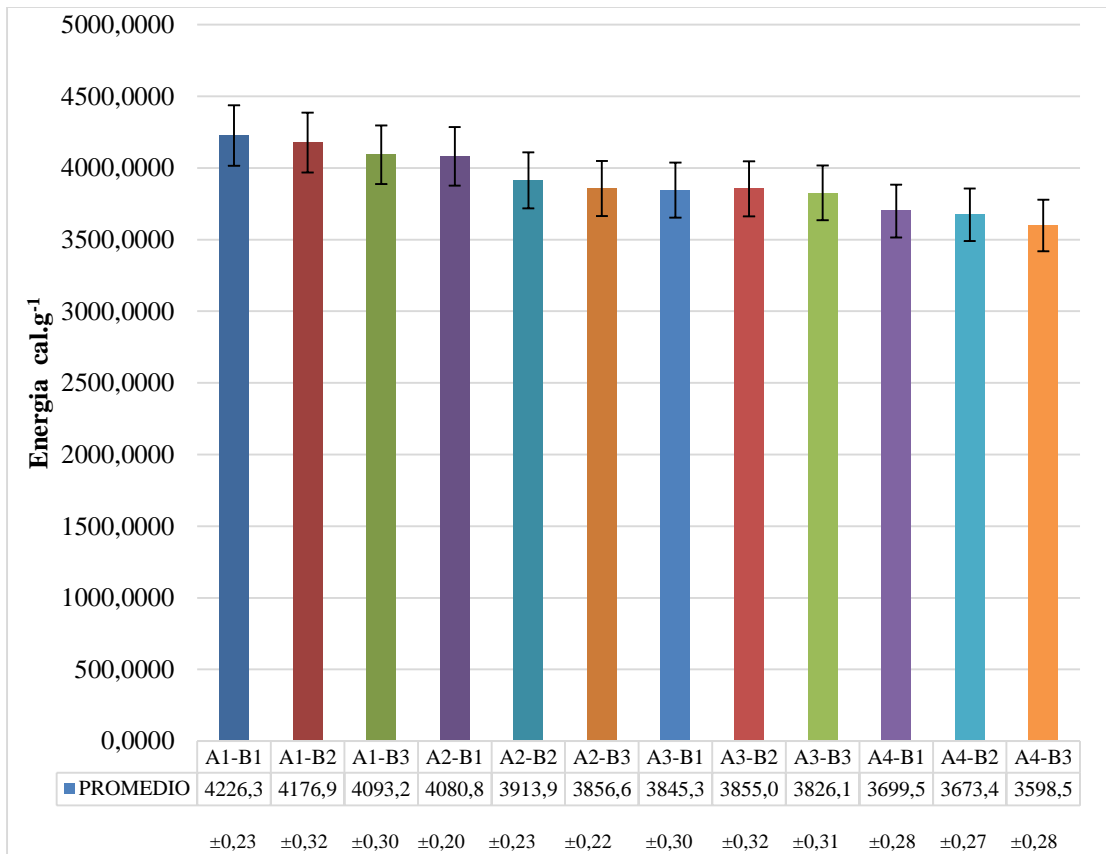


Figura 46. Promedios de interacción riego y fertilización del cultivo de sorgo forrajero para la variable energía 2° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.12.2 Fibra

En la tabla 34 correspondiente a análisis de varianza se observa que existen diferencias significativas para observaciones, además para los factores A y B, es decir que existen diferencias entre las dosis de riego y fertilización para la variable fibra, aunque no existe diferencias significativas para la interacción entre las mismas.

El coeficiente de variación para esta variable es de 2,57%, es decir que la variabilidad entre datos es baja con respecto a la media.

Tabla 32*Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable fibra, 2° corte*

| FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|--------------------|----|-------|------|-------|--------|-----------|----|
| Total | 35 | 73,01 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 69,37 | 6,31 | 38,77 | 2,26 | 3,18 | ** |
| Error exp. | 22 | 3,58 | 0,16 | | | | |
| Factor A(riego) | 3 | 63,73 | 21,2 | 242,6 | 4,76 | 9,78 | ** |
| Repeticiones | 2 | 0,06 | 0,03 | 0,36 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 0,53 | 0,09 | | | | |
| Parcelas gran. | 2 | 64,32 | 32,1 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 3,75 | 1,88 | 9,83 | 3,63 | 6,23 | ** |
| Interacción axb | 6 | 1,88 | 0,31 | 1,64 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | 16 | 3,05 | 0,19 | | | | |
| CV A | | 0,02 | 1,74 | % | | | |
| CV B | | 0,03 | 2,57 | % | | | |
| \bar{x} | | | 17,0 | % | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la Figura 47 correspondiente a prueba de Duncan 5 % se evidencia que existen 4 rangos de significancias, en donde cada lámina de riego tiene un diferente rango, clasificando como la mejor a la lámina de riego del 90% con un promedio de 19 % de fibra en el rango **a** sobre el resto de láminas, mientras que la lámina al 0% presenta un promedio de 15,5 % de Fibra, ubicándolo en el rango **d**.

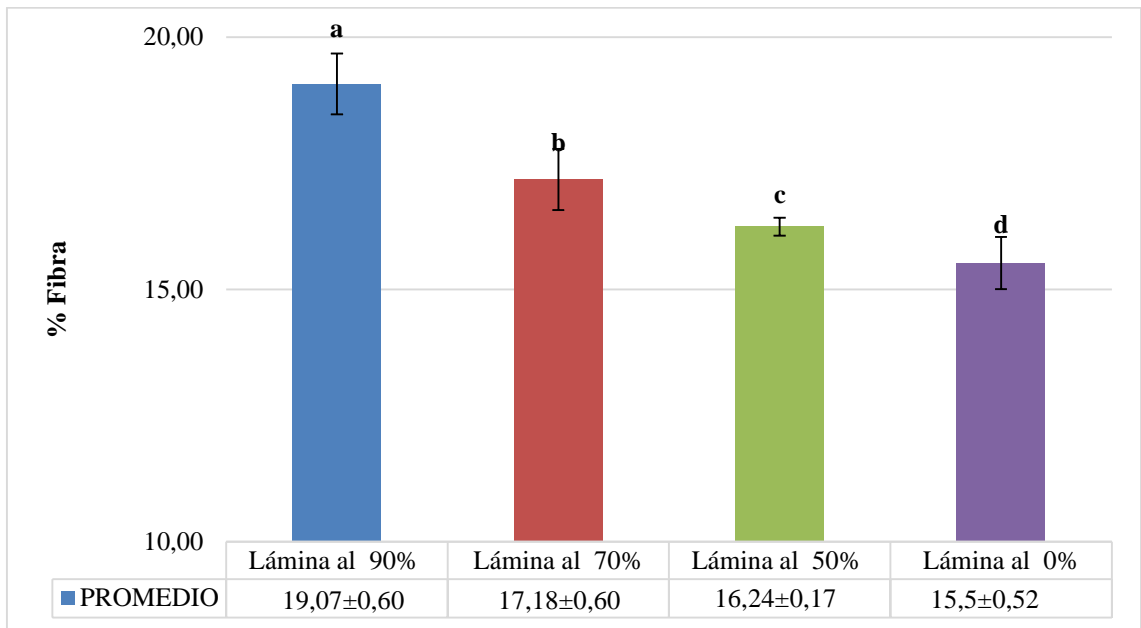


Figura 47 Duncan al 5%, para el factor riego en la variable fibra del cultivo de sorgo forrajero. 2° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 48 correspondiente a Prueba de Duncan al 5% se observa los diferentes niveles para el factor fertilización en el que se distinguen 3 rangos, aunque se contengan unos con otros, siendo la dosis alta de fertilización la que produce el mejor promedio de fibra, mientras que la dosis media y la baja le siguen con promedios de 17,1 y 16,6%, siendo la última la menor.

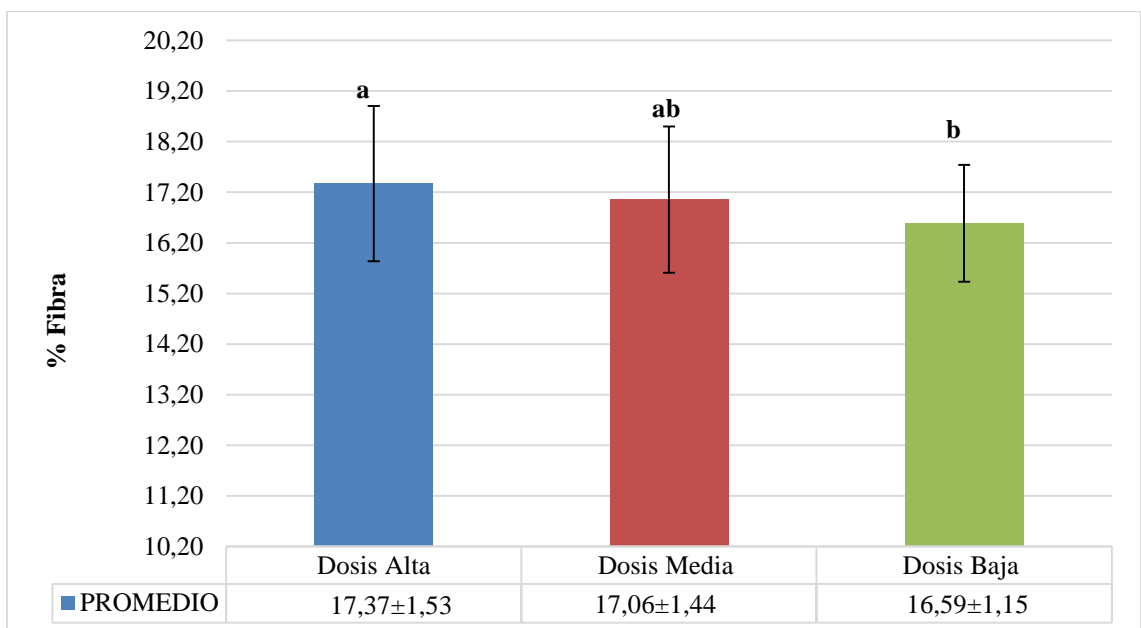


Figura 48. Duncan al 5%, para el factor fertilización en la variable fibra del cultivo de sorgo forrajero. 2° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017).

En la figura 49 se observa las diferencias existentes entre riego y fertilización, en donde queda establecido que a pesar de no existir diferencias estadísticas, matemáticamente, queda demostrado que los mejores promedios son aquellos, recibieron juntos las mejores dosis de riego y fertilización.

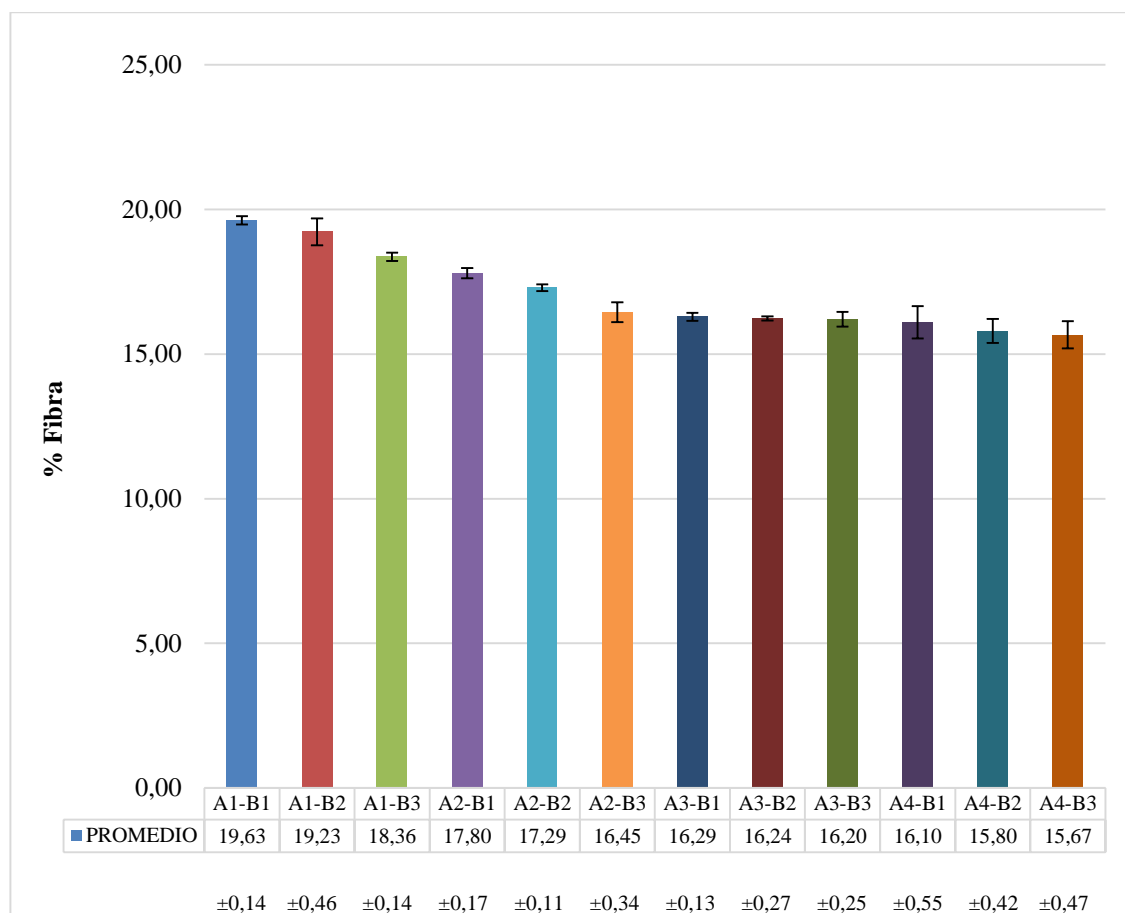


Figura 49. Promedios de interacción riego y fertilización del cultivo de sorgo forrajero para la variable porcentaje de fibra 2° corte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017).

4.12.3 Proteína

En la tabla 35 correspondiente a Análisis de varianza, se observa que existen diferencias significativas para observaciones, y para el factor A riego, aunque no para el factor B o dosis de fertilización.

El coeficiente de variación es de 2,27 %, lo que indica que no existe alta variabilidad con respecto a la media.

Tabla 33*Análisis de varianza del cultivo de sorgo forrajero para la variable proteína, 2° corte*

| FV | GL | SC | CM | F0 | F 0,05 | F 0,01 | |
|------------------|----------|------|------|-------|--------|--------|----|
| Total | 36 | 9,93 | | | | | |
| Observaciones | 11 | 8,68 | 0,79 | 14,69 | 2,26 | 3,18 | ** |
| Error exp. | 22 | 1,18 | 0,05 | | | | |
| Factor A (riego) | 3 | 8,45 | 2,82 | 25,21 | 4,76 | 9,78 | ** |
| Repeticiones | 2 | 0,07 | 0,04 | 0,33 | 5,14 | 10,92 | ns |
| Error A | 6 | 0,67 | 0,11 | | | | |
| Parcelas gran. | <u>2</u> | 9,20 | 4,60 | | | | |
| Factor B (fert) | 2 | 0,16 | 0,08 | 2,48 | 3,63 | 6,23 | ns |
| Interacción axb | 6 | 0,07 | 0,01 | 0,35 | 2,74 | 4,20 | ns |
| Error B | 16 | 0,51 | 0,03 | | | | |
| CV A | | 0,04 | 4,24 | % | | | |
| CV B | | 0,02 | 2,27 | % | | | |
| \bar{x} | | | 8,78 | % | | | |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

La figura 50 muestra los distintos rangos que presenta el factor riego para la variable proteína, en donde se observa que el rango más alto es el de la lámina de riego al 90% con un promedio de 8,5 ubicada en el rango **a**, seguida de la lámina al 70% con un promedio de 8,1, en el rango **b**, mientras que para las láminas de 50 y 0 % se observa un promedio de 7,7 y 7,2 en rangos de **c** y **d** respectivamente.

El análisis de Proteína determinó que existe un rango de 7,2 a 8,53 % de Proteína cruda, que comparado con Vargas (2005) es diferentes obteniendo promedios de 10,86 hasta 14,46, sin embargo coincide con Gracia & Gordón (2006) quién dice que el sorgo tiene un porcentaje de 8 a 12% de proteína, siempre y cuando se satisfaga, las necesidades, tanto hídricas, como nutricionales de este cultivo.

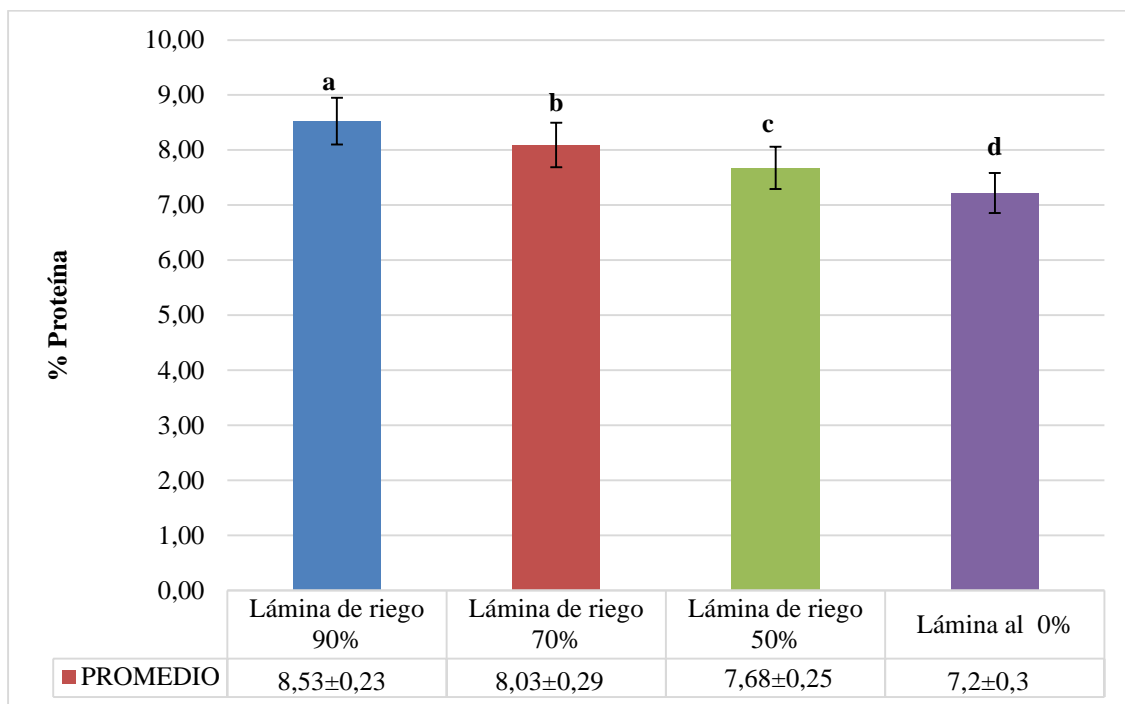


Figura 50 Duncan al 5%, para el factor riego en la variable proteína del cultivo de sorgo forrajero. 2ºcorte

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 51 se observan los promedios de proteína para el factor fertilización, en las que no se encontró diferencias estadísticas, por tanto, se realizó un análisis matemático, en donde se determinaron los siguientes promedios para proteína, siendo el mejor el de dosis alta con un promedio de 8%, y la más baja de 7,8%.

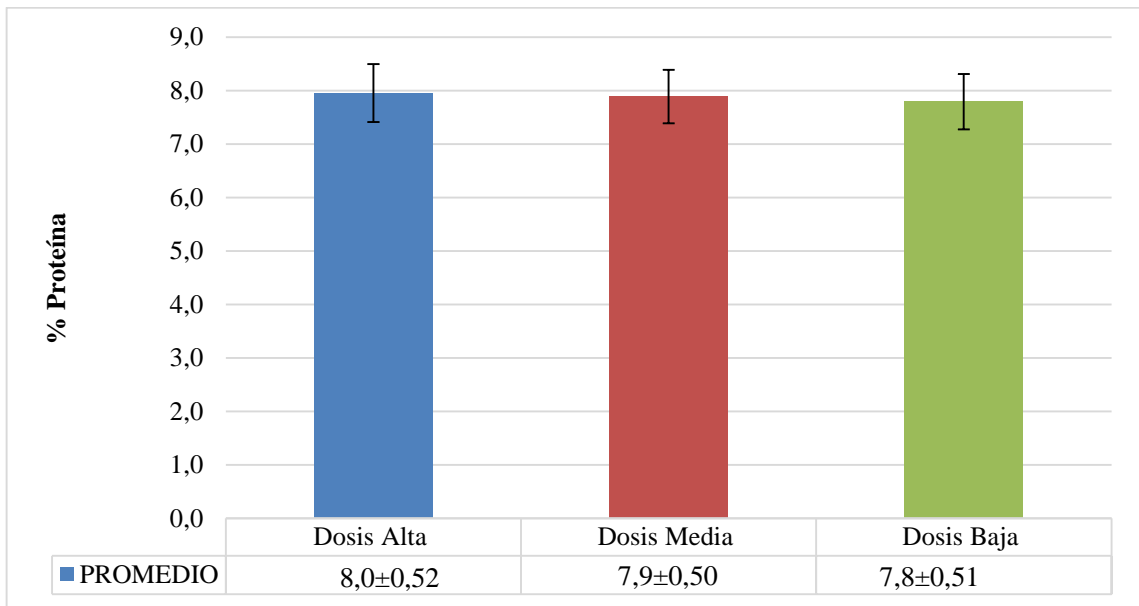


Figura 51. Promedio del cultivo de sorgo forrajero para la variable porcentaje de proteína 2° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

En la figura 52 se puede observar la interacción existente entre riego y fertilización para la variable proteína, en donde se puede observar que, los promedios de porcentaje de proteína son más altos cuando reciben mayor dosificación de riego y fertilización, mientras que los que recibieron una dosificación baja, disminuyeron sus promedios.

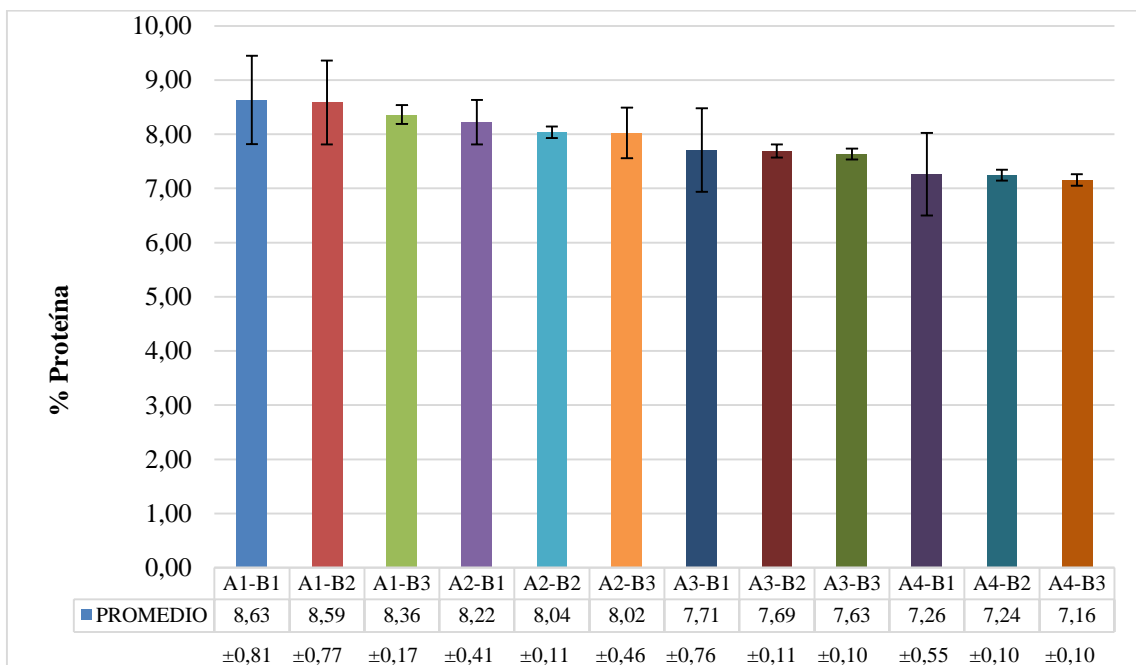


Figura 52. Promedio de interacción riego y fertilización, del cultivo de sorgo forrajero para la variable porcentaje de proteína 2° corte
Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

Tabla 34*Promedios finales de las variables del cultivo de sorgo en dos cortes*

| Variable | Fertilización | | | | Riego | | |
|-----------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Alta | Media | Baja | 90% | 70% | 50% | 0% |
| % Germinación | 95,4 | 94,79 | 94,66 | 97,37 | 96,19 | 95,36 | 90,9 |
| Macollos | 4 | 3 | 3 | 6 | 3 | 2 | 2 |
| Altura 30 días | 79,78 | 77,74 | 76,88 | 84,81 | 79,32 | 75,41 | 72,61 |
| Altura 60 días | 172,43 | 171,24 | 168,63 | 182,65 | 171,49 | 167,03 | 161,89 |
| M. verde t.ha⁻¹ | 36,43 | 36,01 | 35,21 | 39,78 | 36,90 | 34,24 | 32,67 |
| M. seca t.ha⁻¹ | 10 | 9,83 | 9,69 | 10,92 | 10,13 | 9,53 | 8,57 |
| Energía cal.g⁻¹ | 3642,4 | 3627,6 | 3556,4 | 3803,6 | 3629,6 | 3550,3 | 3453,1 |
| % Fibra | 20,57 | 19,57 | 18,66 | 20,79 | 19,78 | 18,40 | 17,61 |
| % Proteína | 7,9 | 7,8 | 7,73 | 8,64 | 8,09 | 7,55 | 7,4 |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

4.13 Socialización sobre la medición de impacto de la investigación

La socialización se realizó el día 6 de diciembre del 2017 en las instalaciones de la PUCE-SI, con un total de 35 asistentes: estudiantes de la carrera de Ingeniería Agropecuaria, docentes, y público en general, quiénes concluyeron lo siguiente:

Tabla 35*Encuesta de la socialización del proyecto*

| Preguntas | Porcentaje | | | | |
|---|------------|------|-------|------|----------|
| | Nulo | Bajo | Medio | Alto | Muy alto |
| 1. ¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad? | | | | 29 | 91 |
| 2. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores? | | | | 31 | 97 |
| 3. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución? | | | | 32 | 100 |
| 4. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron? | | | | 32 | 100 |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

El 91% de los asistentes concluyeron que el tema de investigación tiene una muy alta relevancia, para algún sector de la sociedad.

El 97% cree que la investigación tiene perspectivas muy altas que impulsa a investigaciones posteriores.

El 100% de los asistentes sustenta que la investigación generaría un muy alto beneficio a la empresa pública o privada.

El 100% cree que se cumplieron todos los objetivos planteados en la investigación.

4.14 Determinación de la relación existente entre riego y fertilización.

A continuación se detallan los valores de correlación para las variables de esta investigación, en donde se observa que existe una relación lineal directa entre los factores riego y fertilización con coeficientes de correlación que se aproximan a uno.

Tabla 36

Coefficientes de correlación entre los factores riego y fertilización, aplicado a las variables en la investigación del cultivo de sorgo forrajero.

| Variab les | Factor de correlación entre riego y fertilización |
|---------------------------|--|
| Porcentaje de germinación | 0,117 |
| Número de macollos | 0,997 |
| PRIMER CORTE | |
| Altura 30 días | 0,995 |
| Altura 60 días | 0,999 |
| Materia verde (fresca) | 0,996 |
| Materia seca | 0,999 |
| Energía | 0,845 |
| Fibra | 0,978 |
| Proteína | 0,0967 |
| SEGUNDO CORTE | |
| Altura 30 días | 0,965 |
| Altura 60 días | 0,987 |
| Materia verde (fresca) | 0,934 |
| Materia seca | 0,985 |
| Energía | 0,865 |
| Fibra | 0,934 |
| Proteína | 0,999 |

Elaborado por: Karina Hidrobo (2017)

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en esta investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Conclusiones

- El cultivo de sorgo forrajero reaccionó de manera eficiente ante la aplicación de la lámina de riego al 90% (198,12 mm), obteniendo un rendimiento promedio de 39,7 t.ha⁻¹ como el mas alto de las 4 láminas, mientras que para la fertilización, reaccionó de manera efectiva ante las tres aplicaciones, sin embargo la dosis alta sobresalió produciendo rendimientos de 36,41 t.ha⁻¹ promedio, quedando determinado así que la lámina de riego al 90%(198,12 mm) y la dosis de fertilización alta son las que el cultivo de sorgo forrajero requiere, en las condiciones edafoclimáticas de la granja experimental ECAA, para su óptimo desarrollo y producción.
- Al aplicar distintas láminas de riego, el comportamiento del cultivo de sorgo fue muy variado, tanto en el desarrollo como en la producción, dado que las láminas de riego al 90% dieron como resultado los promedios más altos tanto en crecimiento como en producción, obteniendo promedios de altura de hasta 182,5 cm de altura, y 39,78 t.ha⁻¹ de materia verde, mientras que las láminas de riego que eran bajo el 50% obtuvieron los promedios más bajos, con 161cm de altura, y 32,67 t.ha⁻¹, de materia verde.
- La respuesta del sorgo ante diferentes aplicaciones de fertilización, fue positiva, pues los resultados promedios de cada variable no se vieron afectados drásticamente incluso cuando las dosis disminuyeron, de hecho presentó promedios similares de rendimientos, e incluso la calidad nutricional de este forraje fue alta.
- Después de evaluar el cuadro de coeficientes de correlación en la tabla 38, se observa que la mayoría de variables presentan un valor muy cercanos a uno, por lo que se

llegó a la conclusión de que existe una relación directa entre los factores riego y fertilización, es decir mientras las dosis de riego o fertilizante es más alta, los promedios de las variables también aumentan, demostrando que la relación riego.fertilización favorece el desarrollo del cultivo de manera eficiente, sin embargo la única variable que presento un coeficiente de relación muy bajo fue la germinación, dado que para esta etapa la planta tiene su propia reserva energética por lo que no es necesaria la aplicación de fertilizante.

- El valor de k_c o coeficiente del cultivo (diferencias de evaporación y transpiración entre los cultivos sembrados y la evapotranspiración de referencia) para el sorgo forrajero cultivado en la granja experimental ECAA en la Ciudad de Ibarra, es de 0,30 para la etapa inicial, de 0,6 para la etapa media, 0,92 para la etapa de desarrollo, y finalmente de 0,63 para la etapa final, obtenidos con los datos del cultivo, y los datos proporcionados por la estación meteorológica de la PUCE SI, en el software CROPWAT, es importante mencionar que el k_c representa la cantidad de agua que la planta extrae del suelo, y siempre empezará con un k_c bajo e irá aumentando hasta la etapa de desarrollo que es donde la planta necesita más agua.
- El proyecto de investigación mostró aceptables respuestas al momento de la socialización, pues despertó el interés del público, lo que favorecerá futuras investigaciones del tema, demostrando que el estudio del riego y la fertilización, son la base del desarrollo de un cultivo.
- El proyecto de investigación cumplió con su intención que era proveer de información certera, la lámina de riego y la fertilización del cultivo de sorgo en las condiciones edafoclimáticas de la zona de Ibarra, obteniendo buenos resultados con promedio de $39,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, que comparados con los de (Rodríguez, 2005) que obtuvo promedios de hasta $40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, son similares a los de esta investigación, demostrando que el uso de estos dos factores ayudarán a la buena producción y disminución de costos en el caso de seguir manejando el cultivo, y los valores nutricionales que este

cultivo proporciona serán de utilidad para la alimentación del ganado, con un tiempo de producción relativamente corto.

Recomendaciones

- Las investigaciones relacionadas con cultivos como el sorgo, aún no han sido lo suficientemente investigadas en la zona edafoclimática comprendida a 2200m.s.n.m de altura y una temperatura de 16°C promedio, por lo que es recomendable abundar más en el conocimiento relacionado con este tipo de forrajes aptos a toda condición climática.
- Gracias a la gran aptitud de este forraje en algunos aspectos importantes como adaptabilidad, ha sido posible su investigación, sin embargo, aún existen factores tales como enfermedades, época de siembra, etc., que merecerían la pena ser estudiados más adelante, en la zona edafoclimática comprendida en una altura de 2200m.s.n.m y una temperatura de 16°C promedio.
- Al ser el sorgo un forraje apto para el consumo animal, es recomendable investigar como actúa en la nutrición de éste, es decir, si la producción y calidad de la leche se verá afectada o beneficiada, además del estado óptimo de corte para la alimentación.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrobit. (2014). *Necesidad de agua*. Obtenido de Tecnicas de agricultura en sorgo: http://www.agrobit.com.ar/Info_tecnica/agricultura/sorgo/AG_000003sg.htm
- Amador, A. L., & Boschini, C. (2000). *Calidad nutricional de la planta de sorgo negroforrajero (Sorghum alnum) para alimentación animal*. Volumén (11), 79-84
- Anzu Brothers. (2012). *Pampa verde pacas*. Obtenido de www.pampaverde.com: http://www.pampaverde.com/panfleto_pvp.html
- Arboleda, F. M. (2009). *Importancia del agua en la nutrición de los cultivos*. Obtenido de Cenicaña: http://www.cenicana.org/pdf_privado/carta_trimestral/ct2009/ct3y4_09/ct3y4_09_p16-18.pdf
- Berumena, C. A., Serna, R. R., Ocampo, R. J., Martínez, P. A., & Ortiz, M. M. (2007). Rendimiento y valor nutricional de tres variedades de sorgo dulce cultivadas en cuatro ambientes de. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, Volumén (8), 147-155.
- Carrasco, N., Zamora, M., & Melin, A. (2011). *Manual de Sorgo*. Obtenido de INTA: http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_sorgo_renglon_191.pdf
- Castillo, D. A. (2014). *Caracterización morfoagronómica de 15 accesiones de sorgo (Sorghum bicolor L Moench) con bajo contenido de lignina*. Obtenido de DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln: http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1045&context=intsormil_pubs
- Ciampitti, I., & García, F. (2008). *Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II. Hortalizas, frutales y forrajeras*. Obtenido de international plant nutritioninstitute: [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/57F0DBAD94E9700303257967007CF737/\\$FILE/AA%202.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/57F0DBAD94E9700303257967007CF737/$FILE/AA%202.pdf)
- Contreras, R. F., Salgado, A. A., & Hernández, G. N. (2013). *Potencial Forrajero y Eficiencia de uso de Agua de cultivos forrajeros en ciclos de primavera-verano*. Obtenido de Agrofaz: http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2013133III_1.pdf
- Denim, P. E., & Aguilera, J. J. (2012). *Efecto del régimen de riego en el rendimiento de alfalfa para corte en el Valle Central de Catamarca, Argentina*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Volumén (44), 173-181.

- Díaz, Y. P., Puebla, J. H., & Robaina, F. G. (2016). Estimación de los requerimientos de agua del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Monech) en la región Los Palacios. *Ingeniería Agrícola*, Volúmen (17), 3-10.
- EcuRed. (2014). *Riego de cultivos*. Obtenido de Ecured: http://www.ecured.cu/index.php/Riego_de_los_cultivos
- FAO. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- Fassio, A., Cazzolino, D., Ibañez, W., & Fernández, E. (2002). *Sorgo: Destino forrajero*. Montevideo: Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA. Obtenido de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2871/1/111219240807141139.pdf>
- Fonseca, P. (2017). *Informe: Las fórmulas para calcular la cantidad de materia seca*. Obtenido de Contextoganadero: <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-las-formulas-para-calcular-la-cantidad-de-materia-seca>
- Franco, L. H., Calero, D., & Durán, C. V. (2006). *Sorgo forrajero*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5052/1/9789584411754.pdf>
- Fruponay. (2002). *Sorgo*. Obtenido de Sorgo: <http://fupronay.org.mx/guia%20tecnica/guia/ArchivosPDF/SORGO.pdf>
- Gambudo, S. (2013). *La fertilización del sorgo granífero*. Obtenido de La fertilización del sorgo granífero: <http://portal.acabase.com.ar/suelofertil/Articulos%20de%20Inters/SORGO/Sorgo%20granifero%20-%20Nutrici%C3%B3n%20del%20cultivo.pdf>
- Guerrero & Herrera (2006). Manejo del cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* L.). Instituto de investigación agropecuaria de Panamá. Guía técnica. Volúmen (3), 2-3.
- Gonzales, J. S. (2016). *Adaptabilidad de dos variedades de sorgo forrajero (*sorghum vulgare*), a las condiciones agroclimáticas de la granja experimental de la “pucesi” ubicada en el cantón Ibarra como una alternativa forrajera para la alimentación de bovinos*. Ibarra.
- González, R., Puebla, F. H., Seijas, J. L., Teresa, & Greco, C. L. (2011). *Respuesta del sorgo al riego en dos épocas de siembra. Función agua rendimiento*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Volúmen (20), 40-46.
- Gracia, M. d., & Gordón, R. (2006). Manejo del cultivo de Sorgo Forrajero. En *Manejo del cultivo de Sorgo Forrajero* (pág. 100). IDIAP. Obtenido de <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/idiap/sorgo2.pdf>

- Guerrero, B., & Herrera, D. (2006). *Manejo del cultivo de Sorgo Forrajero (Sorghum Vulgare L.)*. Obtenido de Instituto de investigaciones agropecuarias de Panama: <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/idiap/sorgo1.pdf>
- Jasso, J. R. (s.f.). *www.cofupro.org.mx*. Obtenido de *www.cofupro.org.mx*: http://www.cofupro.org.mx/cofupro/archivo/fondo_sectorial/Michoacan/59michoacan.pdf
- Lorente, R. V. (2000). *Como hacer la prueba de germinación de semillas de granos básicos (Maíz, Frijol, Sorgo, Arroz)*. Obtenido de http://a4n.alianzacacao.org/uploaded/mod_documentos/PRUEBA%20DE%20GERMINACION.pdf
- Luna, F. G. (2008). *Diseño Experimental*. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador.
- Martin, G . O . (2005). Sorgos Forrajeros. La nueva generación. Revista de producción agroindustrial del noa. Obtenido de: http://www.produccion.com.ar/2005/05ago_11.htm.
- Martinez, O. D. (2012). *El cultivo de Sorgo*. Obtenido de repositorio.uaaan.: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5357/T19272%20%20%20LEON%20MARTINEZ,%20OSCAR%20DE%20%20MEMORIA.pdf?sequence=1>
- Pardivé, L. M., & Romero, M. T. (2003). Calidad del sorgo almacenado. *Investigación y Ciencia*. Volumen (16) 49-54. Obtenido de *www.uaa.mx*: <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista16/Articulo%208.pdf>
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H. B., Reyes, F., & Milián, G. O. (2010). *Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench)*. Pastos y forrajes. Volumen (33), 1.
- Principia. (2010). *Germinación de semillas*. Obtenido de Principia-malaga: <http://www.principia-malaga.com/k/images/pdf/web-germinacion-semillas.pdf>
- Puppo, L. (2010). *Necesidades de agua en parques y jardines*. Obtenido de Fagro: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/paisajismo/NECESIDADES%2520DE%2520AGUA%2520DE%2520LOS%2520CULTIVOS%2520paisajismo.pdf>
- Robina, F. (2010). Productividad del agua en maíz, soya y sorgo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Volumen (19), 95-97.
- Rodríguez, C. F. (2005). Valoración nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum* sp). *Agronomía Mesoamericana*, Volumen (28), 215-223. Costa Rica: Editorial Carrensi

- Romero, L., Bruno, O., Comeró, E., & Gaggiotti, M. (1999). A la hora de sembra para el silo. *INTA*, 39. Obtenido de A la hora de sembrar para el silo: <http://rafaela.inta.gov.ar/revistas/pxx10999.htm>
- Salinas, J. L., MamadouBâ, K., BucioII, H. A., & Hernández, F. M. (2013). *Estimación de la demanda hídrica del trigo y sorgo en el Estado de México mediante la recalibración de KT*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Volumén (22), 72-76.
- Stone, L. &. (2006). *Yield – Water supply relationships of grain sorghum and winter wheat*. *Agron.*
- Strevie, R. (2001). Relationship between available soil and water and indicators of plant water status of sweet sorghum to be applied in irrigation scheduling. *Irrigation Science*, 17-21. Obtenido de Relationship between available soil and water and indicators of plant water status of sweet sorghum to be applied in irrigation scheduling: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs002710050040#page-1>
- Terra, J., Scaglia, G., & García, F. (2000). *Características del cultivo y comportamiento en rotaciones forrajeras con siembra directa*. Obtenido de INIA: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807140316.pdf>
- Torrealba, R. G., & Graterol, S. M. (2005). Comportamiento de nueve cultivares de sorgo forrajero en Portuguesa, Venezuela. *Pastos*, 151-162.
- Trujillo, A. I., & Uriarte, G. (2005). *Valor nutritivo de las pasturas*. Obtenido de Prodanimal, Fagro: http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/ALIMENTOS%20RUMIANTES/Trujillo_Uriarte.VALOR_NUTRITIVO_PASTURAS.pdf
- United Sorghum Checkoff Program Board. (Julio de 2011). *Sorgo Forrajero –Guía de Producción para la Región Sureste de los Estados Unidos*. Obtenido de Sorgo Forrajero –Guía de Producción para la Región Sureste de los Estados Unidos: <http://sorghumcheckoff.com/>
- Universidad Central del Ecuador. (2015). *Recursos hídricos en Ecuador*. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <http://estrategiasecuador.blogspot.com/2010/05/recursos-hidricos-en-el-ecuador.html>
- Vallati, A. (2012). *Sorgo*. Obtenido de Sitio Argentino de Producción Animal : http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/maiz_sorgo/12-descripcion_sorgo.pdf

- Vargas Rodríguez, C. (2005). Valoración nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum* sp). *Agronomía Mesoamericana*, 16 (2), 215-223.
- Zamora, M., Melin, A., & Massigoge., J. (2008). Fertilización nitrogenada de sorgo. *Sorgo en el Sur: producción de forraje* , 56-58.
- Zeledón, H. S., Hernández, M. A., Morán, J. E., Serrano, R. F., Borja, C. A., Torres, M. A., & Calderón, V. R. (2007). *Guía técnica de Sorgo*. Obtenido de CENTA: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GUIA%20TECNICA%20ORGO.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Metodología de determinación de humedad con el método gravimétrico

Materiales:

Balanza

Estufa

Procedimiento

Pesar 500gr de muestra

Poner en la estufa a 110°C por 24 horas

Pesar el contenido

Formula

$$\% Humedad = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Pi = Masa inicial de la muestra en gramos.

Pf = Masa final de la muestra en gramos.

Anexo 2. Metodología de determinación energía en la bomba calorimétrica

Ciclo de operación previo

Encendemos la maquina

Abrimos la válvula de presión de oxígeno

Dentro de la maquina hay un recipiente que llenara con 2 litros de agua destilada

Procedimiento

Sacar la humedad de la muestra y triturarla.

Con esa muestra hacer una pastilla en la peletizadora.

Una vez hecha la pastilla se ubica en la bomba de combustión, que debe estar totalmente cerrada

Se debe llenar esta, con oxígeno 2 veces.

Después, con una pinza se toma la bomba de combustión que se ubicara dentro del recipiente con agua.

Se cierra la compuerta y se procede a introducir en el panel de control, el peso de cada pastilla.

Este proceso dura entre 12 y 15 minutos.

Finalmente se obtiene la cantidad de energía en kilocalorías.

Al final del trabajo

Se saca la bomba de combustión se abre la válvula para que se vacíe el oxígeno, y se puede abrir el recipiente para limpiarlo y secarlo.

Sacamos el agua que está a dentro del recipiente y secamos.

Se cierra la válvula de presión de oxígeno, se presiona el interruptor que se encuentra en la parte de atrás y se apaga la máquina.

Anexo 3. Metodología de determinación de fibra cruda

Método de Weende

Reactivos

Ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado al 98% en 1000ml de agua destilada.

Hidróxido de potasio (KOH) 1,25gr en 1000ml con agua destilada. Control de concentración por titulación.

Acetona

Agua

Procedimiento

Medir con precisión 0,500 g de la muestra.

Añadir 1.25% de ácido sulfúrico hasta la muesca de 150ml, luego de haber pre-calentado en el plato calentador para reducir el tiempo necesario para ebullición.

Mantener en ebullición por 30 minutos exactamente desde el inicio de la ebullición.

Conectar a un aspirador para secar el ácido sulfúrico.

Lavar tres veces con 30ml (crisol lleno hasta el tope) de agua desionizada caliente, conectando cada vez al aire comprimido para agitar el contenido del crisol.

Después del drenaje del último lavado, añadir 150ml de hidróxido de potasio (KOH) caliente 1,25%.

Hierva por 30 minutos filtre y lave.

Realizar la última lavada con agua fría desionizada para enfriar los crisoles y entonces lavar su contenido 3 veces con 25ml de acetona, sacudiendo cada vez con aire comprimido.

Retirar los crisoles y determinar el peso seco luego de secar en una estufa a 105°C por una hora o más hacia un peso constante. Dejar enfriar en un desecador Pesar el residuo de los crisoles (F1).

Quemar (550°C) el residuo de los crisoles

Pesar la ceniza en los crisoles (F2)

$$\% \text{ fibra cruda} = \frac{F1 - F2}{F} \times 1$$

Anexo 4. Metodología de determinación de proteína por el método de Kjeldahl

Procedimiento

Muestra: Utilizar 2 gr de muestra, pesados con precisión y cuantitativamente transferidos al tubo de digestión.

Reactivos para digestión: para cada muestra añadir en el tubo de digestión: 2ml de agua oxigenada, 12ml de ácido sulfúrico y una pastilla catalizadora.

Digestión: calentar por 3 horas al 100% en el digestor de Kjeldahl.

Enfriamiento y dilución: dejar enfriar los tubos de digestión, e introducir 50ml de agua destilada y NaOH = 50ml (35%).

Destilación: poner en posición el matraz Erlenmeyer para la colección con 50ml de ácido bórico al 4% con 10 gotas del indicador rojo tashirol.

Colocar un tubo de digestión con 10ml de agua destilada y 10ml de hidróxido e sodio. Recoger por lo menos 100ml de la muestra en el matraz Erlenmeyer.

Titulación: proceder con 0,02% N HCl hasta que haya un ligero cambio de color. Finalmente anotar la cantidad que nos señala la bureta, y a ese dato aplicar la formula

Anexo 5. Fotografías del desarrollo de la Investigación

Fotografías 1 y 2 Preparación y siembra del sorgo.



Fotografías 3 Fertilización del cultivo



Fotografía 4 Toma de datos



Fotografías 5 Corte del Sorgo

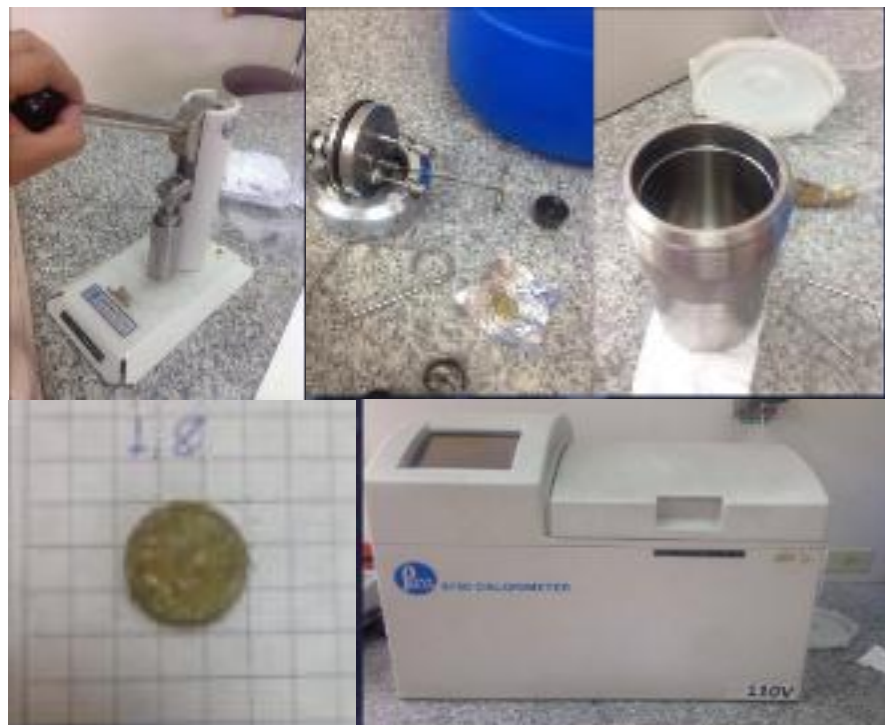


Fotografías 6 Análisis de Laboratorio

Materia Seca



Energía – Bomba Calorimétrica



Fibra Bruta - Equipo fiberTec



Proteína Cruda- Método KJEDHAL



Fotografías 7 Socialización



Encuesta de la socialización



PROCESO DE SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

El siguiente cuestionario nos permitirá implementar mejoras constantes en los procesos de socialización de trabajos de investigar, por favor háganos llegar sus comentarios y sugerencias:

| | | | |
|-------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------|
| FECHA | 21 de abril del 2017 | | |
| EXPOSITORES | Jenny Trujano - Rómel Traya | | |
| LUGAR | DENTRO PUCESI | <input checked="" type="checkbox"/> | FUERA PUCESI |

NOTA IMPORTANTE: Por favor conteste las preguntas según la siguiente escala:

5. MUY ALTO / 4. ALTO / 3. MEDIO / 2. BAJO / 1. NULO

| DETALLE DE VALORACIÓN | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|-------------------------------------|
| ORGANIZACIÓN DEL EVENTO DE SOCIALIZACIÓN: | | | | | |
| 1. ¿Considera Usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias? | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2. ¿Considera Usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado? | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| EJECUCIÓN DEL EVENTO POR PARTE DEL EXPOSITOR: | | | | | |
| 3. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema? | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4. ¿Fielmente Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado? | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión? | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| MEDICIÓN DE IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN: | | | | | |
| 6. ¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad? | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores? | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución? | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron? | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| REALICE UN COMENTARIO O SUGERENCIA PARA LOS ORGANIZADORES DE ESTE EVENTO | | | | | |
| <i>La socialización de temas de investigación están brindando un aporte muy importante para la solución de problemas.</i> | | | | | |
| MENCIONE USTED OTRAS PROBLEMÁTICAS QUE A SU PARECER PODRÍAN SER INVESTIGADAS Y QUE POSEAN IMPORTANCIA PARA ALGÚN ACTOR Y/O SECTOR DE NUESTRA COLECTIVIDAD | | | | | |
| <i>La disponibilidad de los voluntarios en los eventos con respecto al desarrollo de los eventos relacionados en los diferentes lugares de occurrencia.</i> | | | | | |
| INSTITUCIÓN U ORGANIZACIÓN A LA QUE PERTENECE EL ENCUESTADO | | | | | |
| <i>Universidad Técnica del Azuay</i> | | | | | |



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE IBARRA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES
VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD

LISTA DE ASISTENCIA A SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

NOMBRE DEL EXPOSITOR: Karina Hidalgo Hidalgo
CARRERA: Ingeniería Agropecuaria
FECHA: 06/12/2016

| NOMBRE ASISTENTE | NÚMERO DE CÉDULA | INSTITUCION A LA QUE REPRESENTA | FIRMA |
|-----------------------|------------------|---------------------------------|------------------|
| Cristy Hencheta Jairo | 2100776376 | PUCC-SI | |
| Carolina Velez | 100379270-0 | PUCC-SI | |
| Katerlyn Ojeda | 1003169283 | Pucc-si | |
| Erika González | 1724849649 | PUCC-SI | |
| Sony Boor | 2003718609 | PUCC-SI | |
| Estelita Mesa C. | 172232323-3 | PUCC-SI | Estelita Mesa C. |
| Wicela Cordero | 1002173422 | PUCC-SI | |
| Joshelyn Pasquel | 1003795280 | ECAA | Joshelyn P. |
| Cristian Quispe | 0402043092 | PUGESI | |
| Paulina Luna | 1003940170 | ECAA - PUCESI | |
| Estefanía Guzmán | 1003621701 | PUCESI | |
| ERIC VACA | 100365108-3 | PUCESI - ECAA | |
| Karina Sierra | 1003421961 | PUCESI - ECAA | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

